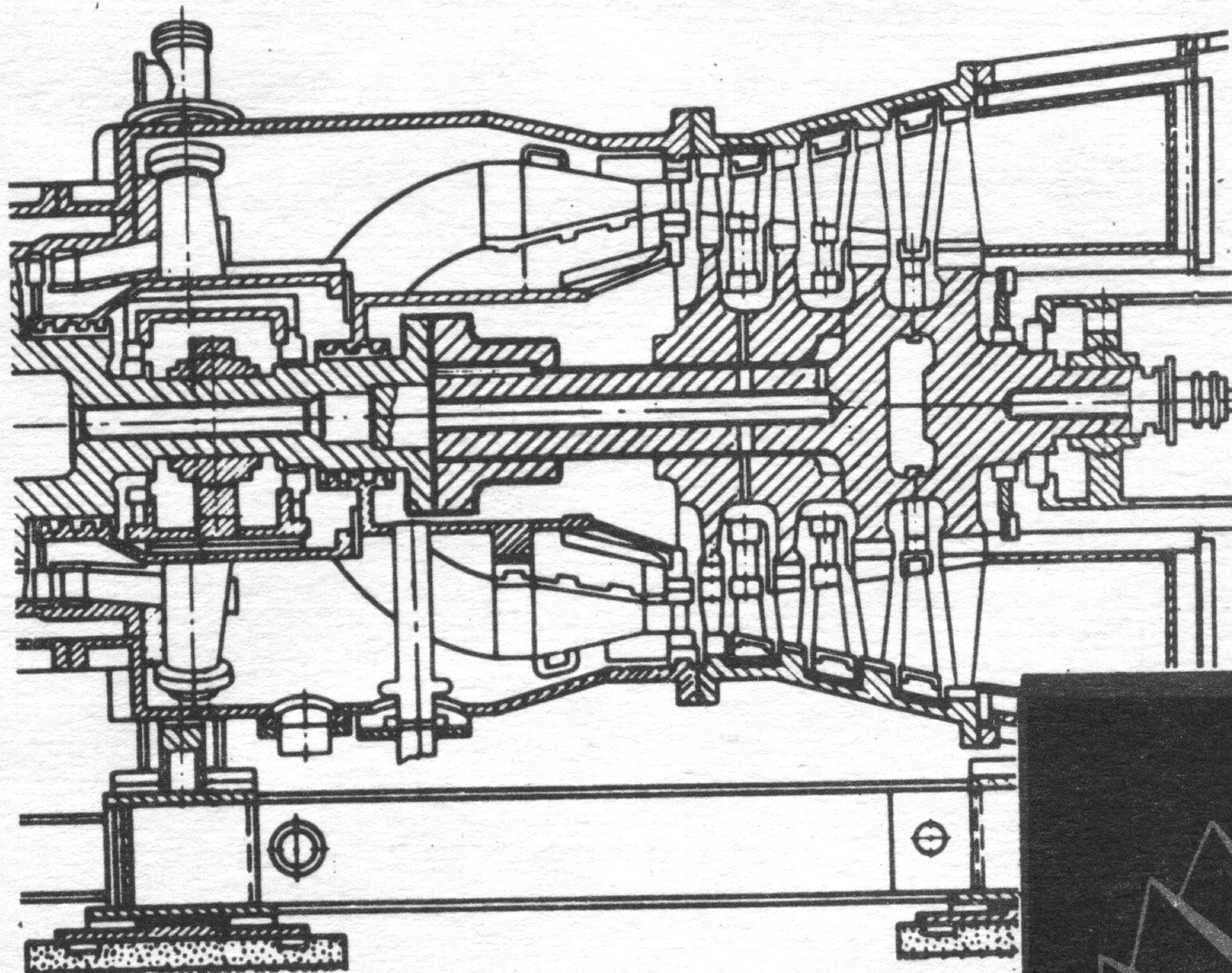
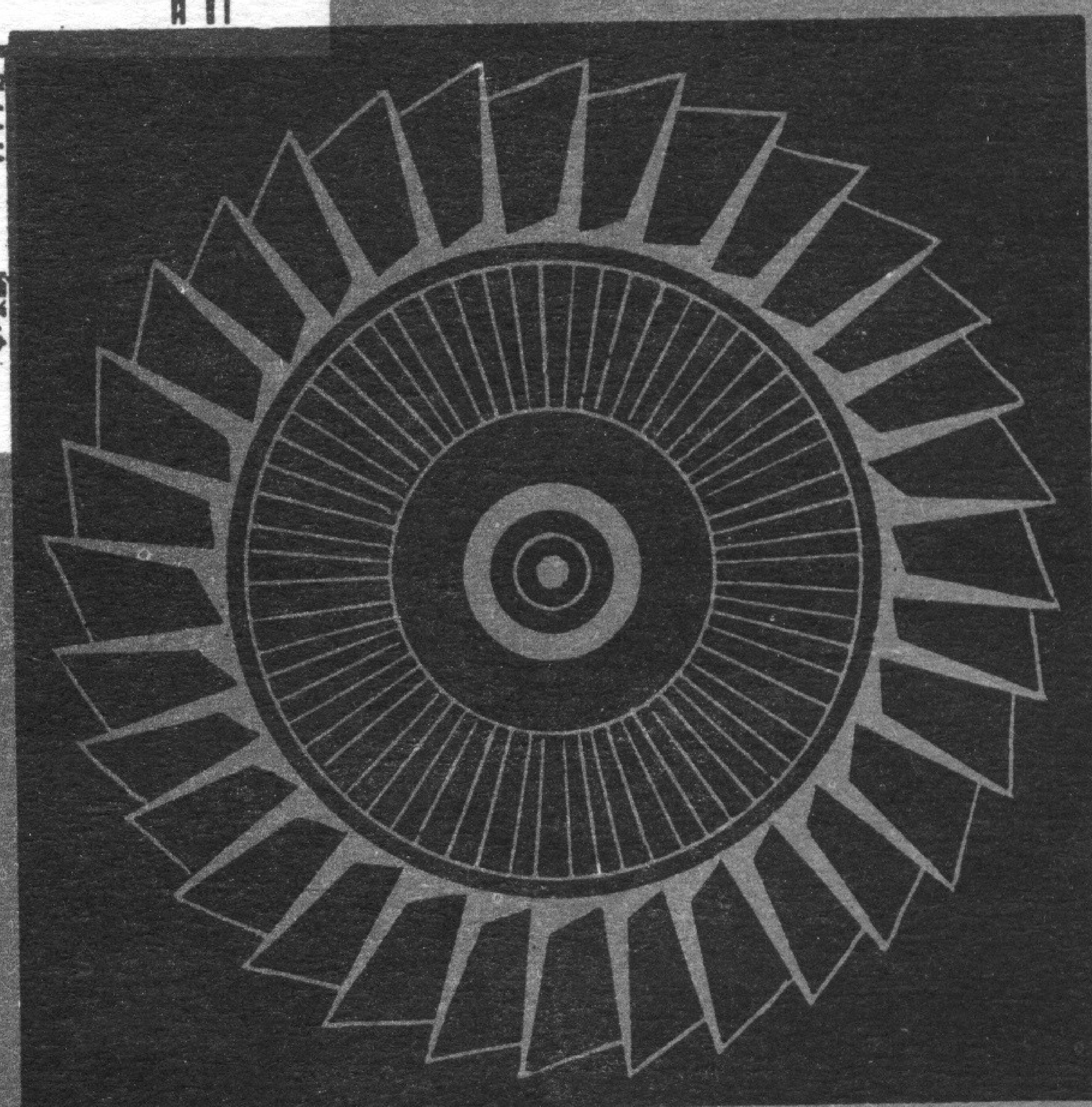
VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

ЦНИИТЭИТЯЖМАШ





ОТРАСЛЕВОЙ КАТАЛОГ

ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

МОСКВА · 1995

КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ

Центральный научно-исследовательский институт
информации и технико-экономических исследований
по тяжелому и транспортному машиностроению
(ЦНИИТЭИтяжмаш)

ОТРАСЛЕВОЙ КАТАЛОГ

Газотурбинные энергетические и технологические установки

76-94

Москва 1995

УДК 621.438

В каталог включены сведения о газотурбинных энергетических и технологических установках по состоянию на 1 июня 1994 г.

Приведены технические характеристики, назначение, краткое описание конструкций, заводы-изготовители. Характеристики ГТУ даны при условиях ИСО, мощность и КПД на клеммах энергетического генератора, за исключением особо оговоренных условий.

Газотурбинные установки по сравнению с другими типами двигателей имеют ряд преимуществ: ниже капитальные затраты при строительстве зданий (укрытий), эксплуатационные расходы, вес, габариты.

ГТУ нашли широкое применение в энергетике развитых зарубежных стран в составе комбинированных установок, а также в качестве автономных электрогенерирующих установок с утилизацией или без утилизации тепла уходящих газов.

Доля ГТУ в энергетике стран СНГ крайне мала, хотя производственные и научно-производственные объединения России и Украины разработали, выпускают или могут выпускать при наличии заказов ряд ГТУ мощностью от 11 до 150 МВт, соответствующие современному мировому уровню.

Материалы каталога подготовил В.Б. Федченко (НПО ЦКТИ им. И.И. Ползунова).

Принятые сокращения:

АСУТП - автоматизированная система управления технологическими процессами;
ВАГТЭ - воздухоаккумулирующая газотурбинная установка;
ГРП - газораспределительный пункт;
ГТУ - газотурбинная установка;
КВД - компрессор высокого давления;
КНД - компрессор низкого давления;
КСД - компрессор среднего давления;
КСВД - камера сгорания высокого давления;
КСНД - камера сгорания низкого давления;
СТ - силовая турбина;
ТВД - турбина высокого давления;
ТНД - турбина низкого давления;
ЧВД - часть высокого давления;
ЧНД - часть низкого давления.

© Центральный научно-исследовательский институт
информации и технико-экономических исследований
по тяжелому и транспортному машиностроению, 1995.

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-30

Разработчик и изготовитель - ПО "Невский завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

Газотурбинная установка ГТЭ-30 предназначена для привода электрического генератора и может быть использована для выработки электроэнергии в базовом и пиковом режимах. Тепло уходящих газов может быть использовано в котле-утилизаторе для выработки технологического или теплофикационного пара. ГТЭ-30 может работать в составе парогазовой установки.

Техническая характеристика ГТЭ-30

Номинальная мощность (на муфте), МВт	30,5
КПД (на муфте), %	26,6
Температура газа, °С:	
за камерой сгорания	920
за турбиной	430
Степень повышения давления воздуха	13,2
Расход газа на выхлопе, кг/с	190,25
Топливо	Природный газ
Габаритные размеры турбогруппы, м:	
длина	15,3
ширина	3,75
высота	3,4
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	3.0
Время пуска, не более, мин	25

Конструкция установки. Установка выполнена по простому открытому циклу по трехвальной схеме с двухкаскадным осевым компрессором, встроенной микрофакельной камерой сгорания кольцевого типа и свободной силовой турбиной. На рис. 1 показан продольный разрез турбогруппы.

Турбогруппа состоит из 7-ступенчатого КНД, 8-ступенчатого КВД и трех одноступенчатых турбин - ТВД, ТНД и СТ. ТВД вращает КВД, ТНД-КНД. Конструктивно роторы КНД-ТНД и КВД-ТВД выполнены по схеме "вал в валу".

Сопловые лопатки ТВД литые, полые, имеют систему внутреннего конвективного охлаждения дефлекторного типа. Рабочие лопатки ТВД литые, с бандажными полками и удлиненной ножкой, профиль хвоста "елочного" типа. Корпус турбин сварной, имеет обойменную конструкцию. Сопловые лопатки ТНД литые, полые, неохлаждаемые. Рабочие лопатки ТНД по конструкции аналогичны рабочим лопаткам ТВД. Для более полного использования выходной скорости за силовой турбиной установлен спрямляющий аппарат.

Система автоматического регулирования установки - комбинированная, электропневматическая. Электрическая часть объединяет датчики и регуляторы, вырабатывающие команды, а также устройства связи с системой автоматического управления. Пневматическая часть является исполнительной. Функции управления агрегатом и контроль за его работой осуществляет система А-705-15. В перспективе предусмотрен переход на микропроцессорную систему А-705-15-01М совместно с установкой промышленного телевидения, которые обеспечат работу ГТЭ-30 без постоянного присутствия обслуживающего персонала в машинном зале.

Система смазки общая для ГТУ и электрогенератора. Охлаждение масла - прямое воздушное.

Оборудование электростанции располагается в специальном здании и включает основные блоки: турбогруппу, блоки маслоснабжения и системы регулирования, электрический генератор.

Комплексное устройство воздухоподготовки снабжено инерционными фильтрами, фильтрами тонкой очистки и системой шумоглушения.

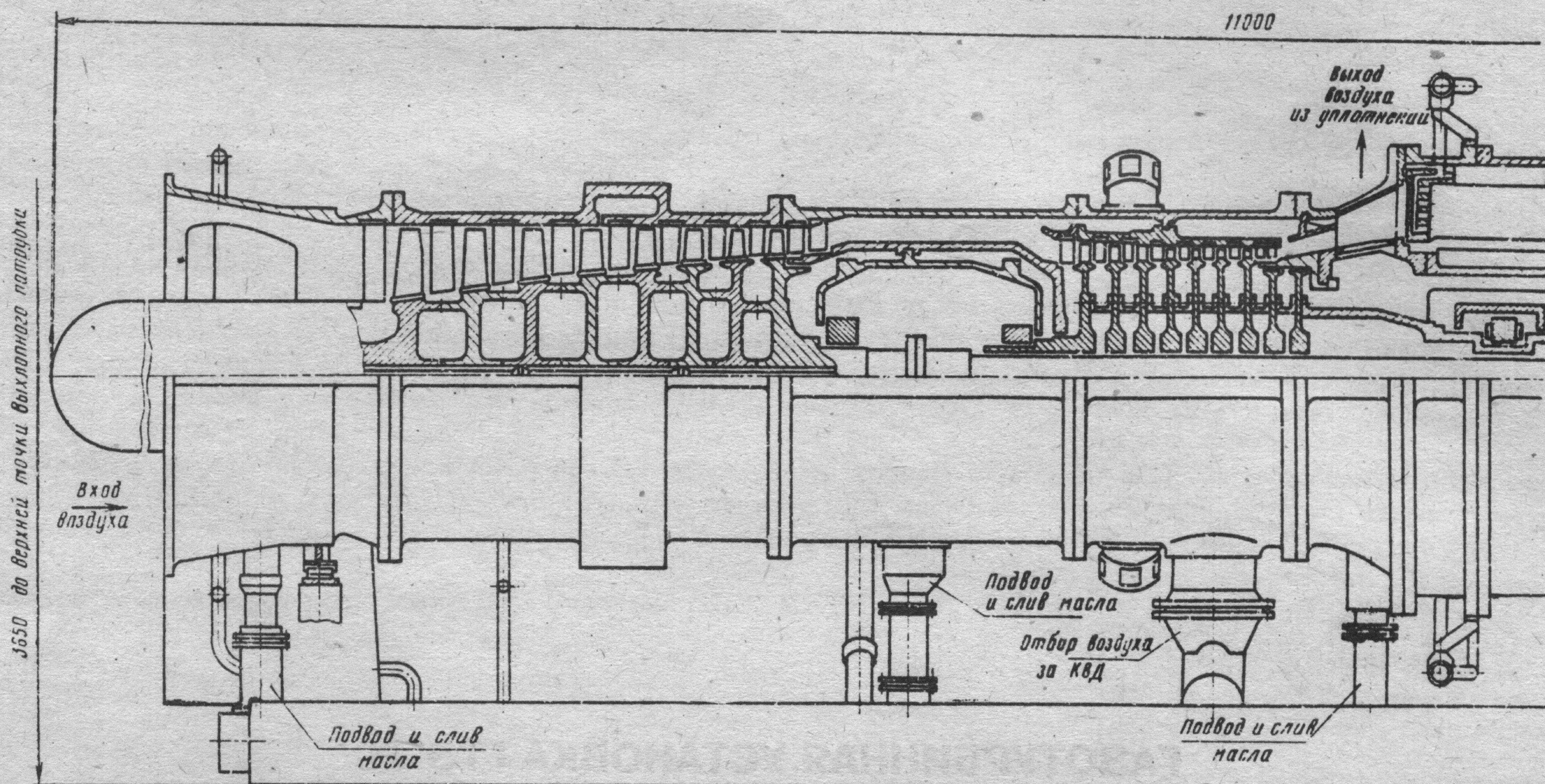


Рис. 1. **Продольный**

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-45

Разработчик и изготовитель - НПО "Турбоатом" (г. Харьков, Украина).

Газотурбинная установка ГТЭ-45 предназначена для выработки электроэнергии в составе парогазовой установки с высоконапорным парогенератором и в составе парогазовой установки со сбросом газов в котел или с подогревом отработавшими газами питательной воды, а также в качестве автономной ГТУ с утилизацией или без утилизации тепла уходящих газов. Может использоваться в базовом, полупиковом и пиковом режимах.

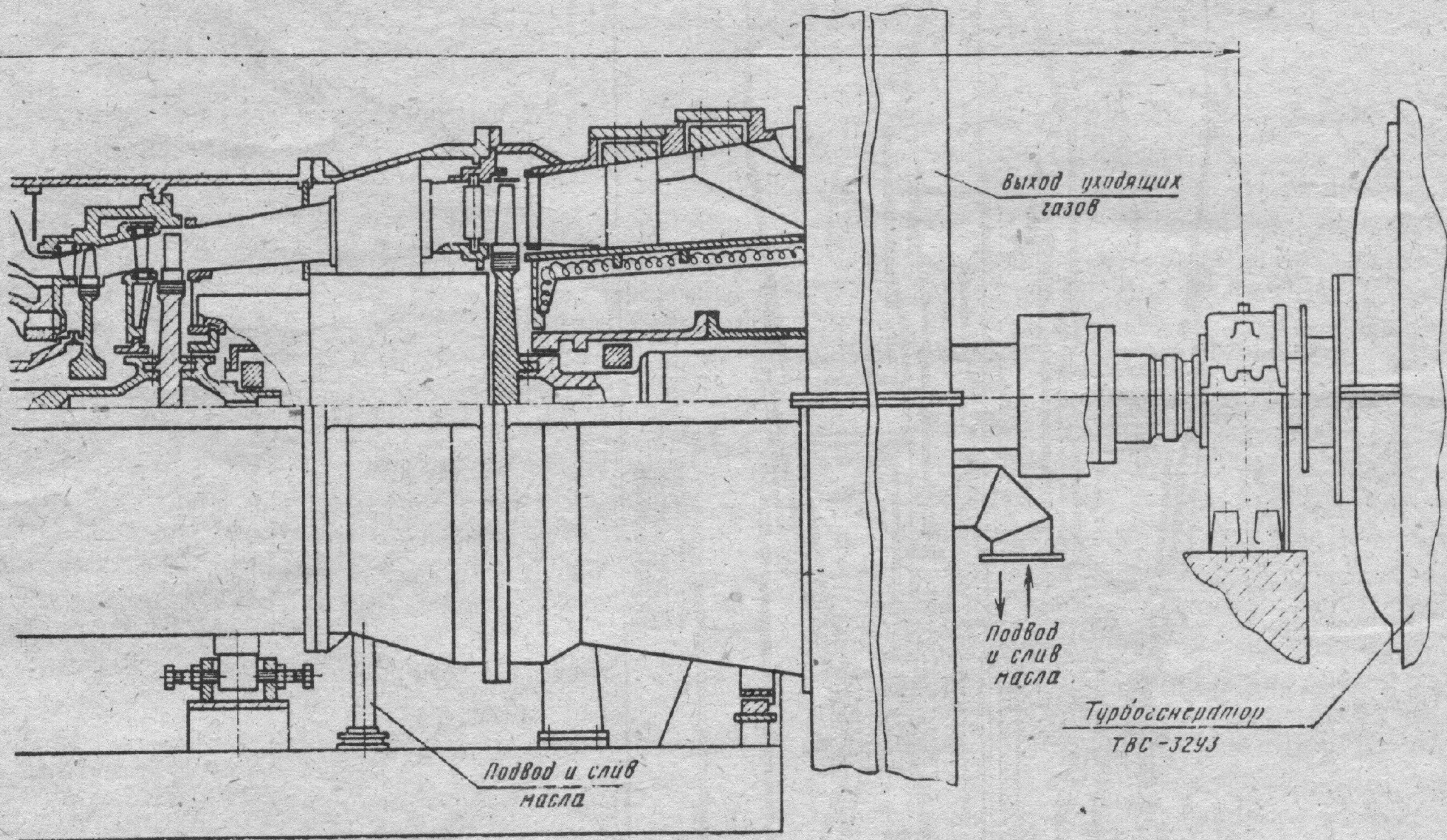
Техническая характеристика ГТЭ-45 при работе в составе блока ПГУ-250

Номинальная мощность, МВт	62,0
Температура газа, ˚С:	
перед турбиной	850
за турбиной	470
Степень повышения давления воздуха	8,2
Расход газа на выхлопе, кг/с	281
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	2,8

Техническая характеристика автономной ГТЭ-45

Номинальная мощность, МВт	56,7
КПД, %	28,5
Температура газа, ˚С:	
перед турбиной	900
за турбиной	468
Степень повышения давления воздуха	7,9
Расход газа на выхлопе, кг/с	285
Топливо	Природный газ, газотурбинное
Габаритные размеры турбогруппы, м:	
длина	16,2
ширина	4,6
высота	4,0

Конструкция установки. Газотурбинная установка выполнена одновальной по простой схеме и включает в себя осевой компрессор, турбину, систему автоматического регулирования, управления и защиты, устройство тиристорного пуска с использованием генератора в качестве привода, аппаратуру контроля и сигнализации, систему топливоподачи, систему маслоснабжения. ГТЭ-45, предназначенная для работы в составе парогазового блока, не имеет своей камеры сгорания. На рис. 2 показана тепловая схема, а на рис. 3 продольный разрез установки ГТЭ-45.



разрез ГТЭ-30

Турбина и компрессор имеют общий корпус. Роторы компрессора и турбины, соединенные между собой жесткой муфтой, имеют три опоры. В собранном виде турбина и компрессор образуют единый транспортабельный блок - турбокомпрессорную группу.

Камера сгорания автономной ГТУ - кольцевая прямоточного типа, оснащена 18 комбинированными двухтопливными горелками. Форсунки двухступенчатые, механического распыла.

Компрессор шестнадцатиступенчатый. Входной направляющий аппарат выполнен с поворотными лопатками.

Ротор компрессора дискобарабанного типа, сварен из трех частей. Хвостовые соединения лопаток зубчикового типа выполнены в осевом направлении по дуге окружности.

Турбина имеет четыре ступени. Сопловые лопатки 1-, 2- и 3-й ступеней полые, литые, лопатки 4-й ступени штампованные. Сопловые лопатки 1-й ступени дефлекторного типа с конвективным охлаждением.

Выхлоп из турбины осевой, с развитым диффузором. Ротор турбины комбинированного типа: откованные заодно с хвостовиками диски 3- и 4-й ступеней сварены между собой, а диски 1- и 2-й ступеней насадные.

Рабочие лопатки соединяются с дисками замками "елочного" типа, выполненными по дуге окружности. Рабочие лопатки 1-, 2- и 3-й ступеней выполнены с удлиненной ножкой.

На базе ГТЭ-45 в НПО "Турбоатом" разработана модифицированная установка ГТЭ-45М (ГТЭ-65) мощностью 64 МВт с КПД 30,1%.

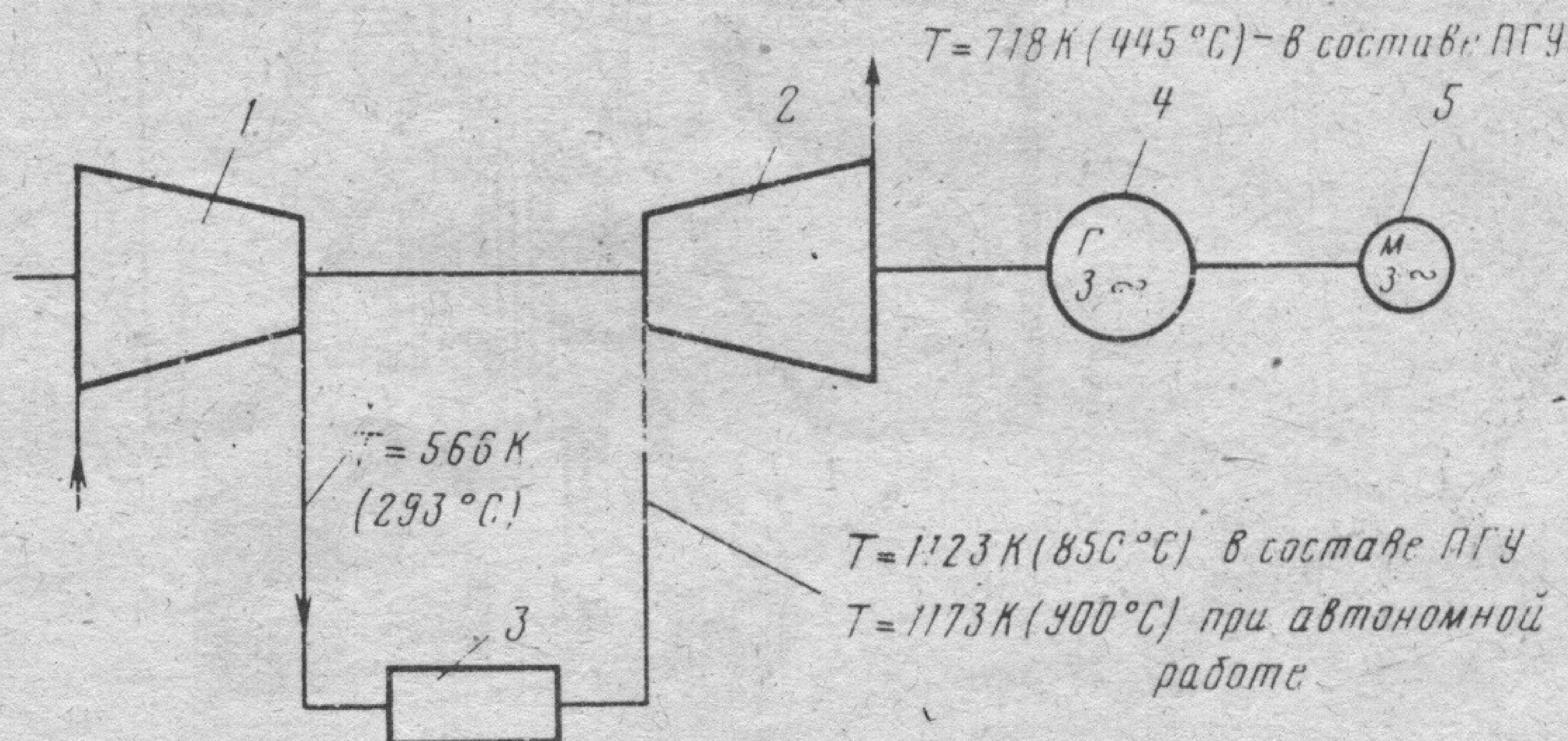


Рис. 2. Тепловая схема ГТЭ-45
1 - компрессор; 2 - турбина; 3 - камера сгорания; 4 - электрический генератор; 5 - пусковой двигатель

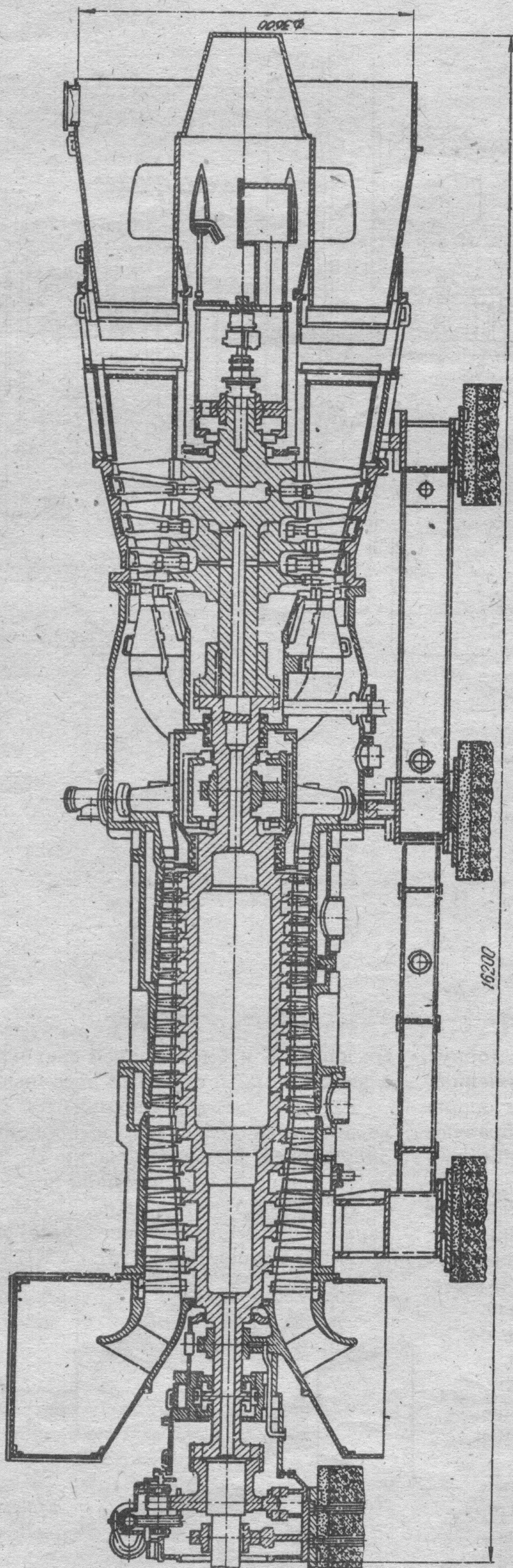


Рис. 3. Продольный разрез ГТЭ-45

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТ-100-3М

Разработчик и изготовитель ПО "Ленинградский металлический завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

Газотурбинная установка ГТ-100-3М предназначена для покрытия пиковых нагрузок в крупных энергосистемах.

Установка выполнена по термодинамическому циклу с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и промежуточным подводом тепла при расширении.

ГТ-100-3М выполнена двухвальной. КНД, ТНД и электрический генератор образуют один вал с постоянной частотой вращения на всех рабочих режимах, КВД и ТВД - второй вал свободный, частота которого может при работе изменяться.

Техническая характеристика ГТ-100-3М

Номинальная мощность, МВт	105
КПД, %	28
Температура газа, °С:	
перед ТВД и ТНД	750
за ТНД	398
Степень повышения давления воздуха	26,8
Расход газа на выхлопе, кг/с	458
Топливо	Природный газ, газотурбинное
Габаритные размеры турбогруппы, м:	
длина	24,2
ширина	6,8
высота	5,8
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	3,5

Конструкция установки. Все турбомашины установки расположены на одной оси. Корпуса КВД, ТВД и ТНД объединены в единый блок. Ротор КВД-ТВД двухопорный, а ротор ТНД, КНД и электрического генератора опирается на два подшипника. Тепловая схема и продольный разрез показаны на рис. 4 и 5.

Ротор КНД состоит из вала с насадными дисками и набранных рабочих лопаток, которые заводятся в осевом направлении и крепятся соединением типа "ласточкин хвост".

Общий корпус КВД, ТВД и ТНД выполнен с горизонтальным и четырьмя вертикальными разъемами, три из которых технологические, а один, расположенный посередине, разбирается при осмотрах и ремонтах. Фиксируется корпус в зоне выхлопной части ТНД.

Обойма ТВД, цилиндр диафрагм ТНД и сегменты направляющих лопаток вблизи места их крепления охлаждаются воздухом. В обойму ТВД воздух поступает из полости КСВД, а к цилиндру диафрагм - по трем наружным трубопроводам с дозирующими шайбами.

Ротор турбомашин высокого давления (КВД и ТВД) собран на болтах. Рабочие лопатки компрессора крепятся в кольцевых пазах с помощью Т-образных хвостовиков, турбины - трехопорными хвостовиками "елочного" типа. Ротор охлаждается воздухом, поступающим из полости КСВД в щелевые зазоры в замковых соединениях.

Ротор ТНД состоит из пяти дисков и двух концевых частей, скрепленных между собой 12 стяжными болтами, и имеют развитую систему охлаждения. Охлаждающий воздух отбирается за КСВД и подается в заднее уплотнение ТНД. Через осевые отверстия в концевой части и в дисках воздух поступает в полость между дисками 1- и 2-й ступеней в зоне хвостовиков рабочих лопаток. Одна часть этого воздуха охлаждает хвостовое соединение 1-й ступени, двигаясь навстречу потоку газа; другая часть последовательно проходит через зазоры в хвостовых соединениях 2 - 5-й ступеней; третья часть воздуха проходит в камеру думмиса и охлаждает переднюю концевую часть ротора.

Пламенные трубы камеры сгорания расположены внутри корпуса наклонно к оси агрегата. В каждой ступени сгорания имеется 12 пламенных труб. Камеры сгорания работают на природном газе и жидком топливе, а горелочные устройства приспособлены для раздельного или комбинированного сжигания этих топлив.

Воздухоохладитель состоит из двух параллельно работающих корпусов, состоящих из двух последовательно расположенных по ходу воздуха секций.

Установка ГТ-100-3М оснащена электрогидравлической системой регулирования, обеспечивающей режимы пуска, устойчивую работу при синхронизации и после включения в сеть, ограничение роста частоты вращения при сбросах нагрузки и удержание ГТУ в работе на холостом ходу, а также плановые и аварийные остановы.

Сигналы датчиков частоты вращения валов ТВД и ТНД усиливаются в электрической части системы регулирования и в конечном итоге вызывают перемещения сервомоторов регулирующих клапанов, управляющих расходами топлива в камеры сгорания. Сигналы датчиков частот вращения используются в системе автоматического пуска для начала или завершения отдельных этапов, включения и выключения вспомогательных устройств и т.д.

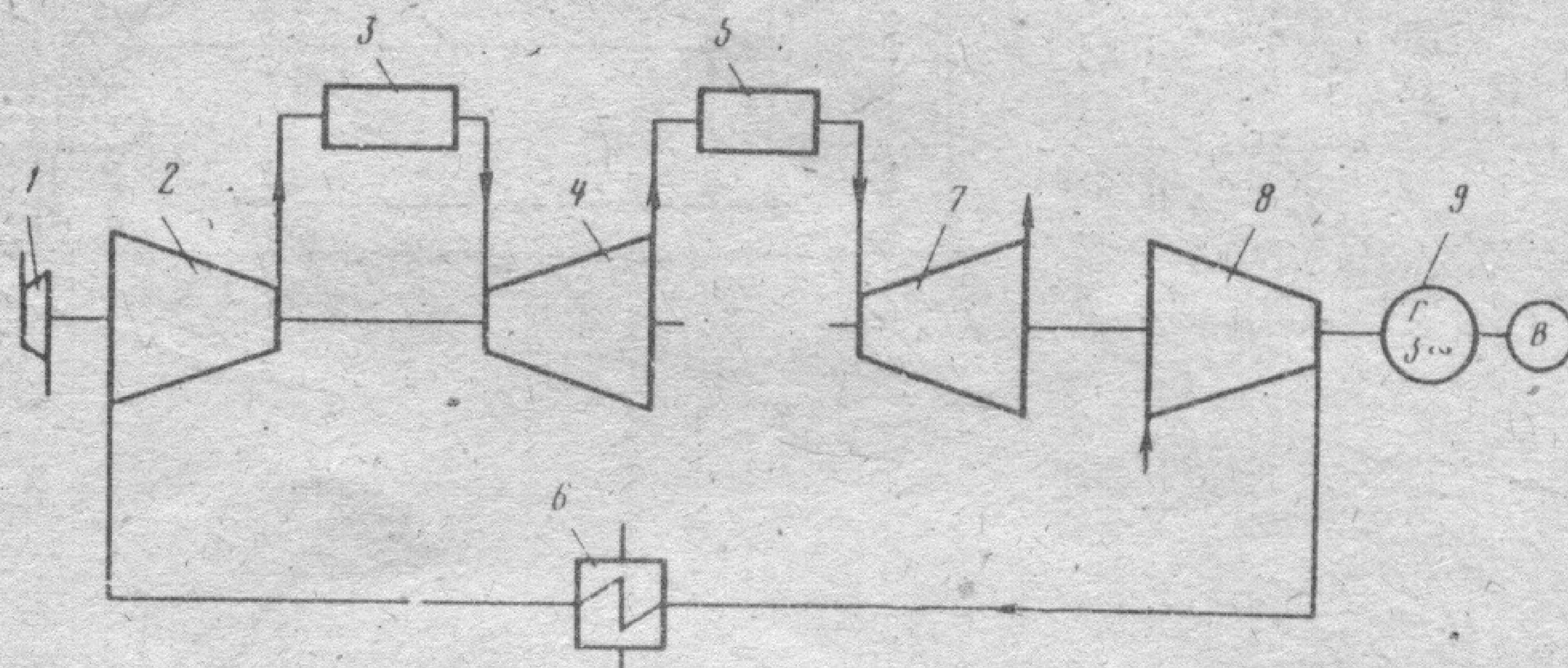
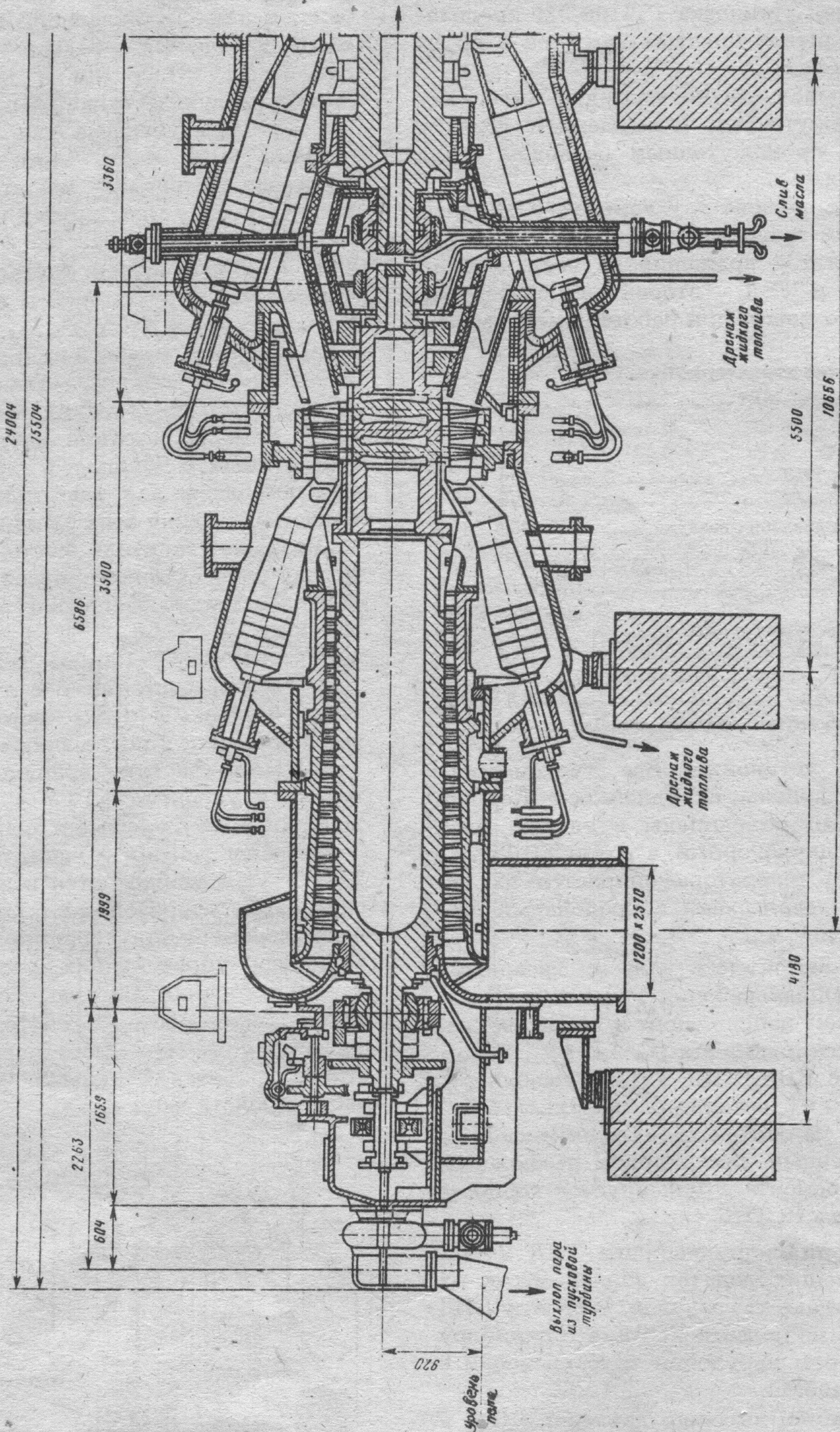


Рис. 4. **Тепловая схема ГТ-100-3М**
1 - пусковая турбина; 2 - КВД; 3 - КСВД; 4 - ТВД; 5 - КСНД; 6 - воздухоохладитель; 7 - ТНД; 8 - КНД; 9 - электрический генератор



Слив масла
Дренаж жидкого топлива
Дренаж жидкого топлива
Выхлоп пара из пусковой турбины
Уровень пола
24004
15504
6586
3360
3500
1999
1659
2263
604
920
1200 x 2570
5500
10656
4180

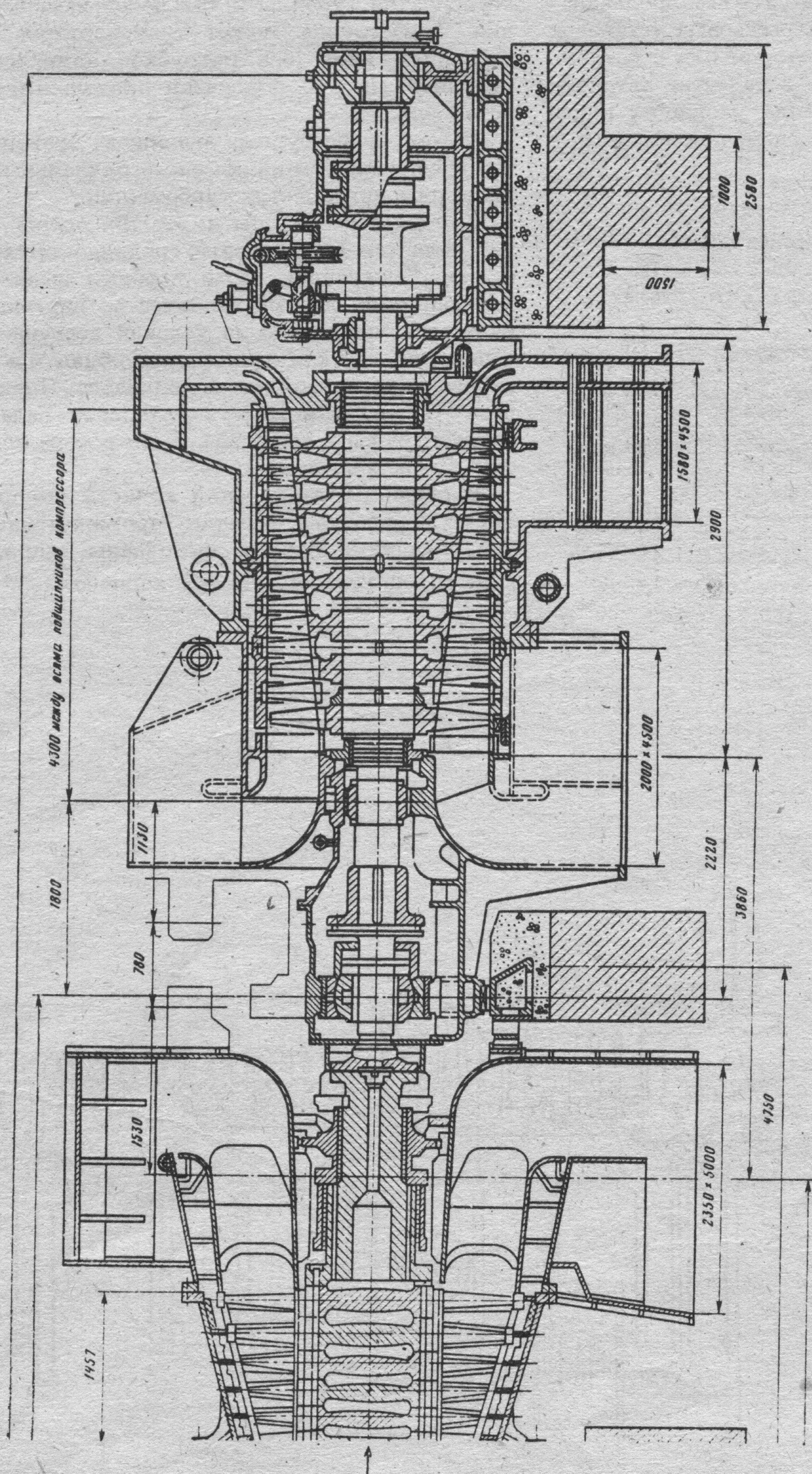


Рис. 5. **Продольный разрез ГТ-100-3М**

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-115

Разработчик и изготовитель - НПО "Турбоатом" (г. Харьков, Украина).

Газотурбинная установка ГТЭ-115 предназначена для работы в составе парогазовых установок с низконапорным парогенератором или с котлом-утилизатором и для работы в качестве автономных ГТУ с утилизацией тепла уходящих газов. Может использоваться в базовом, полупиковом и в пиковом режимах.

Техническая характеристика ГТЭ-115

Номинальная мощность, МВт	119
КПД, %	33,8
Температура газа, °С:	
перед турбиной	1170
за турбиной	520
Степень повышения давления воздуха	12,3
Расход газа на выхлопе, кг/с	401
Топливо	Природный газ, газотурбинное
Габаритные размеры турбогруппы, м:	
длина	18,1
ширина	6,1
высота	4,5
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	1,7

Конструкция установки. Турбогруппа состоит из 16-ступенчатого осевого компрессора, четырехступенчатой турбины и кольцевой камеры сгорания. Турбогруппа может транспортироваться в собранном виде (без патрубков компрессора и турбины). На рис. 6 показан продольный разрез установки.

Ротор турбогруппы выполнен трехопорным, что обеспечивает минимальные радиальные зазоры в проточных частях турбомашин.

Корпус турбогруппы имеет три опоры: передняя является фикспунктом, средняя - пружинная, а опора выхлопной части турбины выполнена с качающимися лапами. Количество вертикальных разъемов определено из условий доступа к проточным частям компрессора и турбины и к балансировочным плоскостям валопровода. Предусмотрена также возможность установки балансировочных грузов в выходной части ротора компрессора без вскрытия корпуса.

Входной направляющий аппарат компрессора имеет поворотные лопатки, промежуточные направляющие аппараты выполнены сварными в виде колец, установленных в корпусе.

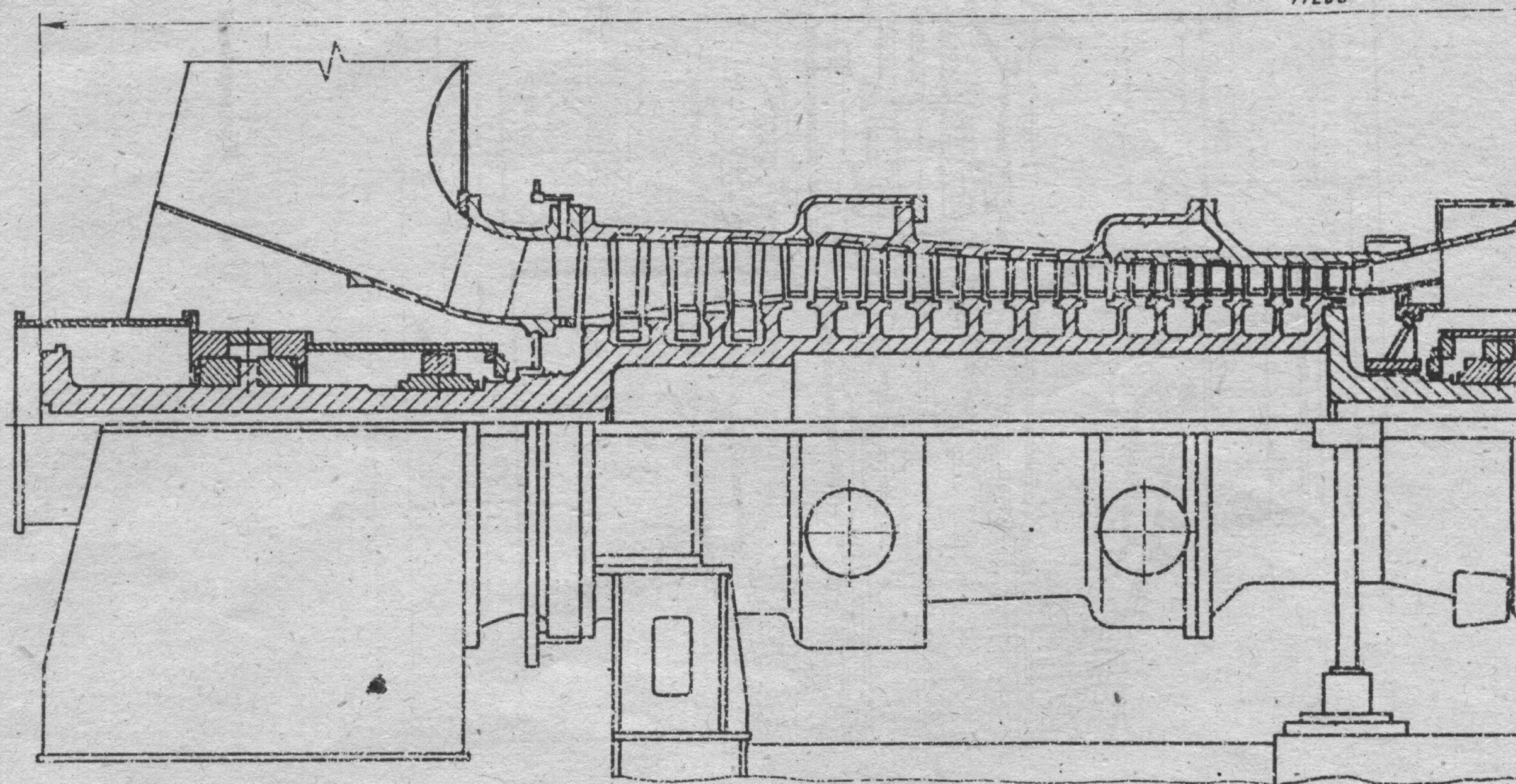


Рис. 6. **Продольный**

Ротор компрессора сварной из трех частей с хвостовиком, прикрепленным болтами. Хвостовые соединения рабочих лопаток компрессора зубчикового типа выполнены по дуге. Каждая лопатка может быть снята и установлена отдельно.

Турбина имеет четыре ступени. Сопловые лопатки 1 - 3-й ступеней охлаждаются воздухом, система охлаждения лопаток 1- и 2-й ступеней дефлекторного типа, а лопаток 3-й ступени - канального. Сопловые лопатки 4-й ступени точнолитые, неохлаждаемые. Рабочие лопатки 1- и 2-й ступеней охлаждаются воздухом, система охлаждения лопаток 1-й ступени дефлекторного типа, 2-й ступени - канального. Лопатки 2 - 4-й ступеней имеют бандажные полки, замыкаемые на круг. Хвостовые соединения елочного типа с прямыми хвостами.

Ротор турбины сборной конструкции с центральной стяжкой. Между основными дисками установлены промежуточные диски, которые организуют подачу охлаждающего воздуха в замковые соединения рабочих лопаток и в рабочие лопатки.

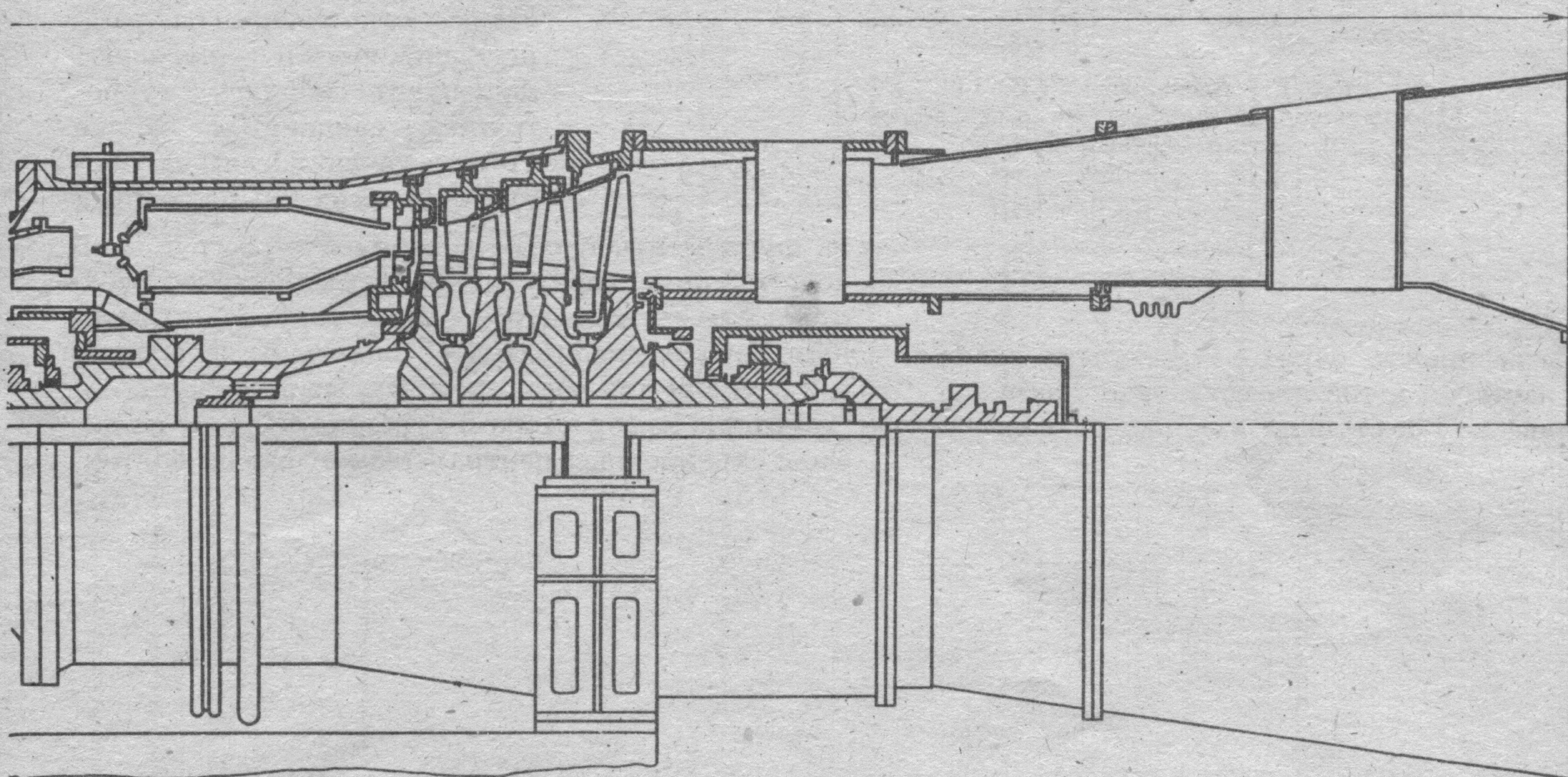
Конструкция корпуса турбины - обойменного типа, что позволяет выполнить раздельный подвод охлаждающего воздуха и тем самым регулировать температурное состояние обойм и радиальные зазоры в проточной части.

Камера сгорания - кольцевого типа, состоит из пламенной трубы, фронтового устройства, горелок и топливного коллектора. Конструкция пламенной трубы и торцевой стенки обеспечивает тепловые перемещения элементов камеры. Горелки двухтопливные с пневмомеханической форсункой жидкого топлива.

Система регулирования и защиты установки предназначена для обеспечения работы на двух видах топлива, дистанционного управления агрегатом, автоматического пуска, устойчивой работы на всех режимах, защиты. Для выполнения этих задач предусмотрены три системы: система регулирования топливоподачи, система регулирования положения антипомпажных клапанов и входного направляющего аппарата и система защиты.

Вспомогательное оборудование. Газотурбинные установки, предназначенные для северных районов, оборудованы подогревом циклового воздуха. Подогреватель струйного типа устанавливается в шахте подвода воздуха к компрессору. Отбор воздуха на подогрев осуществляется за компрессором.

На базе ГТЭ-115 НПО "Турбоатом" разработана модернизированная установка ГТЭ-115М мощностью 135 МВт с КПД 35%.



разрез ГТЭ-115

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА
ГТЭ-150

Разработчик и изготовитель - ПО "Ленинградский Металлический завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

Газотурбинная установка ГТЭ-150 предназначена для работы в пиковом и полупроводниковом режимах эксплуатации при автономной работе, а также в цикле ПГУ.

Предполагается поэтапное освоение принятой начальной температуры газа. На первом этапе обеспечивается уровень начальной температуры 950°С, позволяющей ограничиться охлаждением первого ряда сопловых лопаток и исключить необходимость охлаждения рабочих лопаток турбины.

На втором этапе, после освоения технологии изготовления рабочих лопаток, температура газа перед турбиной повышается до номинального значения 1100°С. Конструкция турбогруппы обеспечивает возможность перехода с первого этапа на второй на одной и той же установке с заменой рабочих лопаток 1-й ступени и сопловых лопаток 2-й ступени.

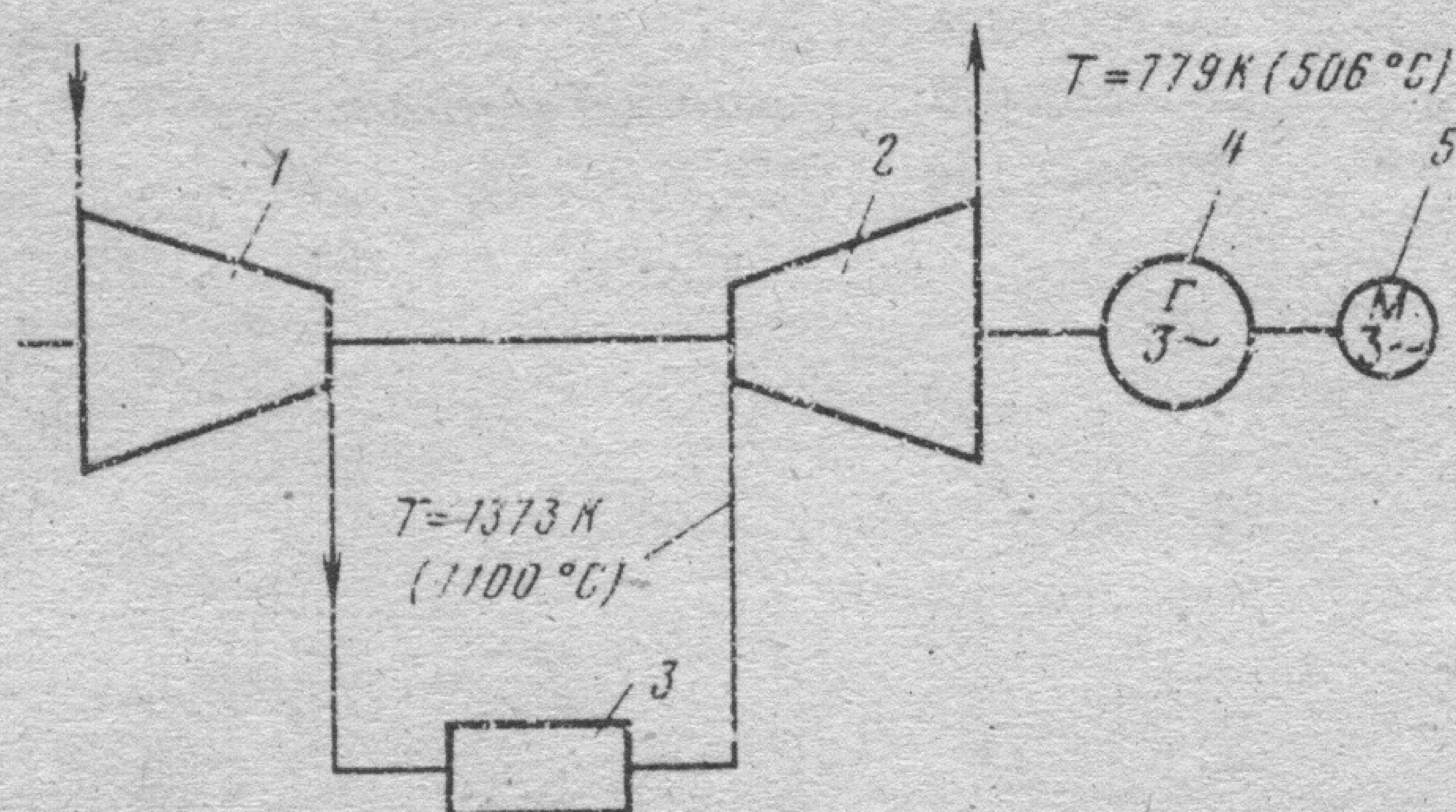


Рис. 7. **Тепловая схема ГТЭ-150**
1 - компрессор; 2 - турбина; 3 - камера сгорания; 4 - электрический генератор

Техническая характеристика ГТЭ-150

	I этап	II этап
Номинальная мощность, МВт	128	157,6
КПД, %	29,6	31
Температура газа, °С:		
перед турбиной	950	1100
за турбиной	423	506
Степень повышения давления воздуха	12	
Расход воздуха через компрессор, кг/с	600	
Габаритные размеры турбогруппы, м:		
длина	15,1	
ширина	5,15	
высота	5	
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	1,5	1,2

Конструкция установки. ГТЭ-150 выполнена по простой одновальной схеме. Турбогруппа выполнена в виде единого сборочного блока, включающего четырнадцатиступенчатый компрессор, четырехступенчатую турбину и 14 встроенных камер сгорания секционного типа. Движение рабочего тела в пределах турбогруппы прямоточное. Выхлоп осевой. На рис. 7 приведена тепловая схема установки, а на рис. 8 - продольный разрез турбогруппы.

Корпус турбогруппы имеет разъем в горизонтальной плоскости, ряд технологических и эксплуатационных стыков в вертикальных плоскостях и опирается на стойки фундаментной рамы в шести точках. Передние опорные стойки закреплены на раме неподвижно и образуют фикспункт корпуса турбогруппы, средние и задние стойки качающиеся, закреплены на осях, выполненных на фундаментной раме и корпусе турбогруппы. В конструкции корпуса предусматривается возможность выемки переходных патрубков пламенных труб и диафрагмы с сопловыми лопатками 1-й ступени при частичном вскрытии корпуса.

Роторы компрессора и турбины собраны из дисков, скрепленных центральным стяжным болтом.

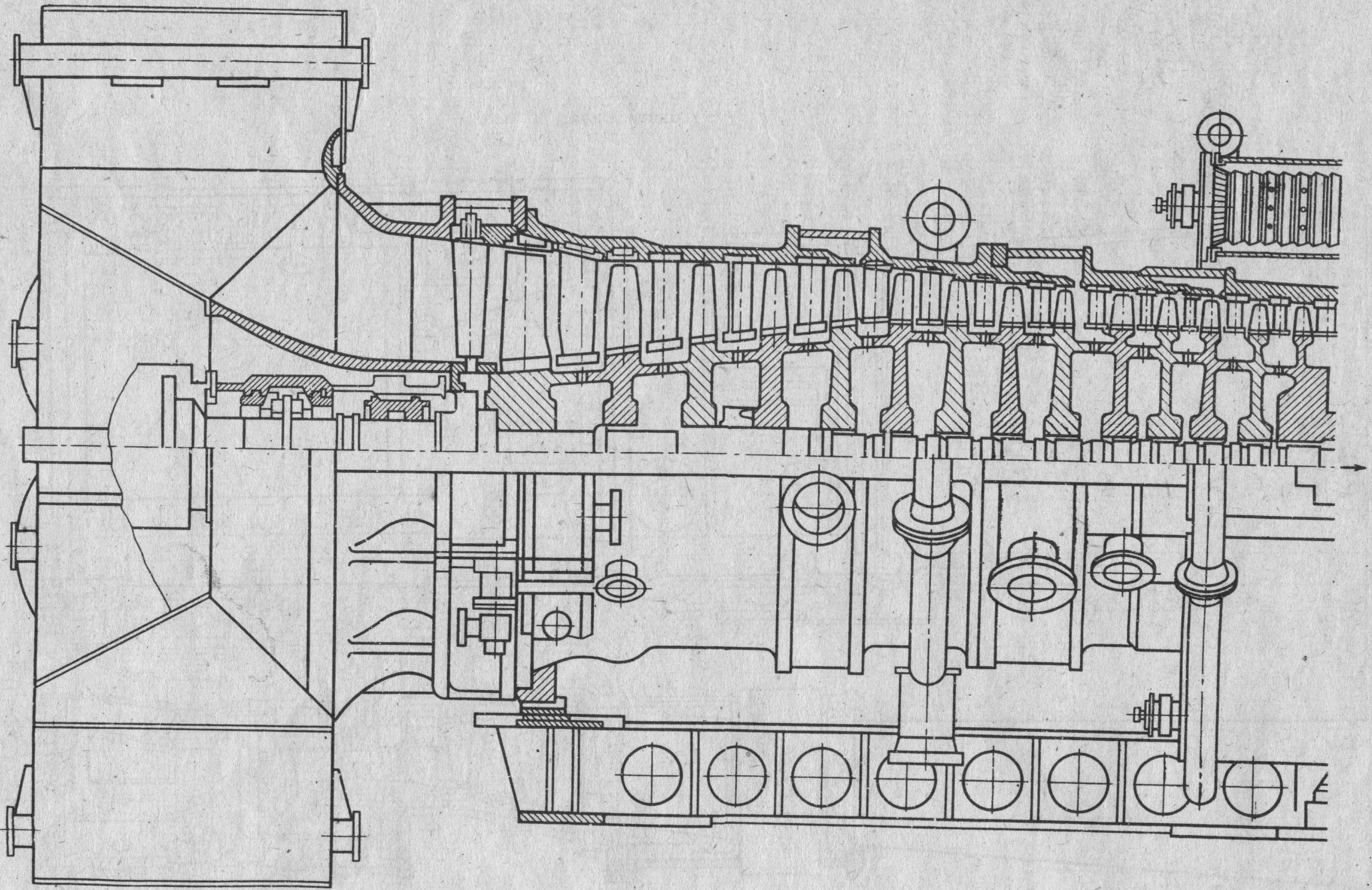


Рис. 8. **Продольный разрез ГТЭ-150**

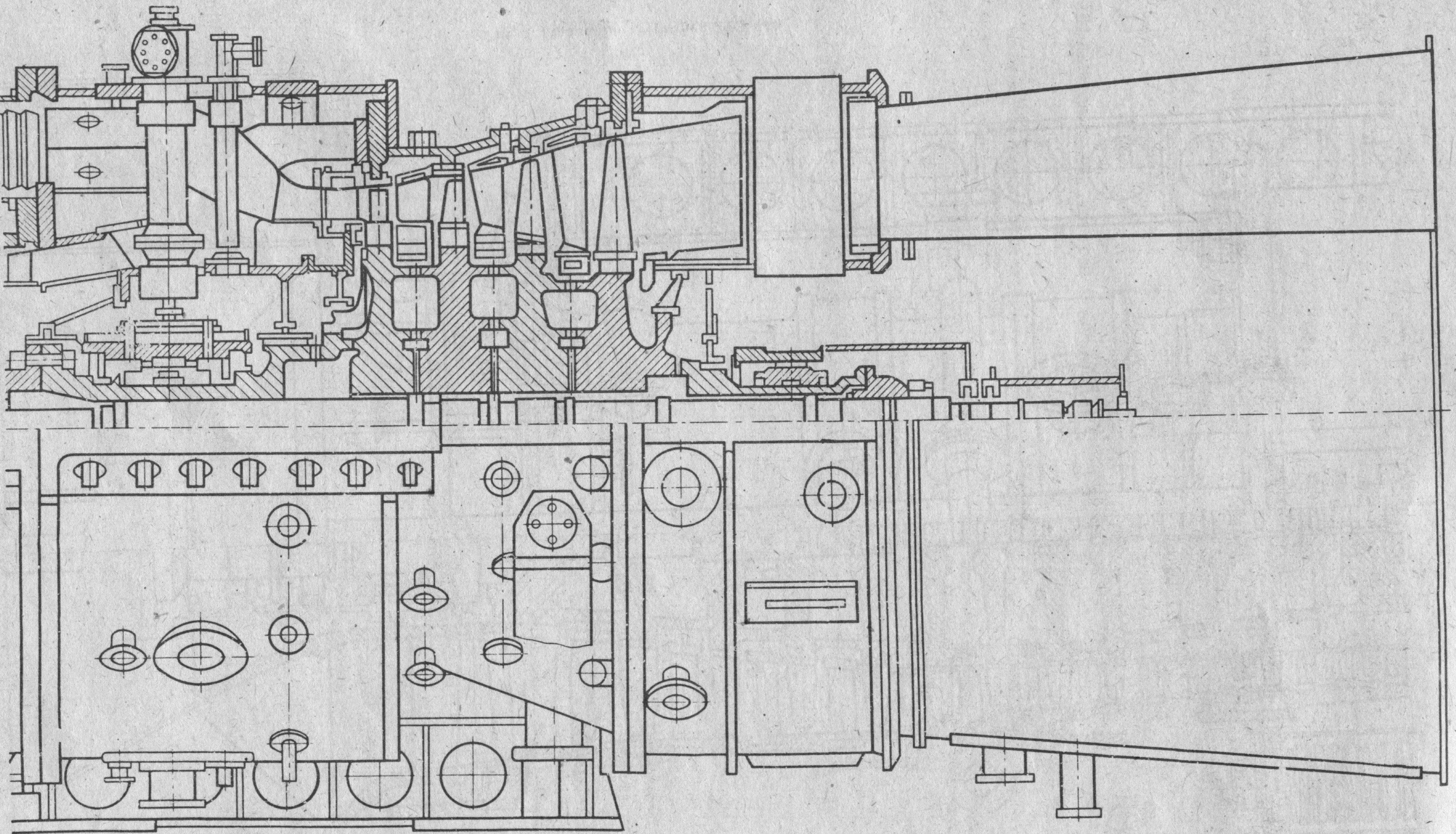


Рис. 8. Продолжение

ВОЗДУХОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-350 ВА

Разработчик - ПО "Ленинградский Металлический завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

ВАГТЭ предназначена для выравнивания электрических нагрузок крупных энергосистем за счет разделения во времени процессов сжатия и расширения в газотурбинной установке таким образом, что в период провала нагрузки в энергосистеме компрессорная группа ВАГТЭ, приводимая электродвигателем, сжимает атмосферный воздух и закачивает его в подземный воздухоаккумулятор, потребляя электроэнергию. В период пика электрической нагрузки газотурбинная группа ВАГТЭ с электрогенератором вырабатывает электроэнергию. На рис. 9 показана тепловая схема установки.

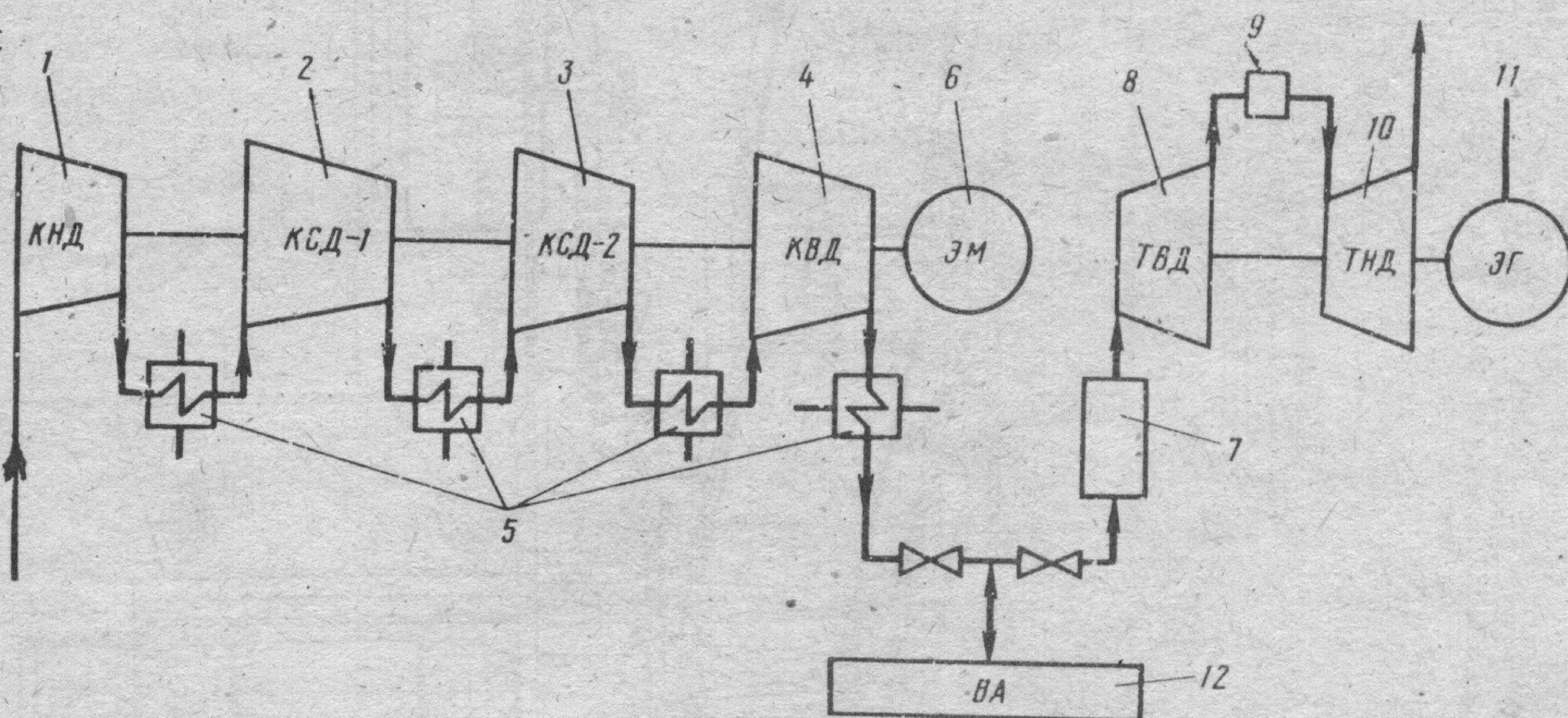


Рис. 9. **Тепловая схема ГТЭ-350 ВА**

1 - 4 - компрессорная группа; 5 - воздухоохладители; 6 - электрический двигатель; 7 - камера сгорания ВД; 8 - турбина ВД; 9 - камера сгорания НД; 10 - турбина НД; 11 - электрический генератор; 12 - воздухоаккумулятор

Компрессорная группа состоит из четырех компрессоров: осевого 10-ступенчатого КНД, осевого 11-ступенчатого КСД-1, центробежного 4-ступенчатого КСД-2 и центробежного 4-ступенчатого КВД. Компрессорная группа имеет три промежуточных и один концевой воздухоохладитель.

Техническая характеристика ГТЭ-350 ВА

КПД, %	26,4
Коэффициент воспроизводства энергии	1,035
Коэффициент использования воздухоаккумулятора, кВт/м^3	1,045

Газотурбинная группа

Время выработки электроэнергии, ч/сутки	5
Мощность на клеммах генератора, МВт	345
Расход воздуха из аккумулятора, кг/с	490
Температура газа перед турбинами высокого и низкого давления, °С	750/750
Давление воздуха перед стопорным клапаном турбины, МПа	4,6
Температура газа на выхлопе, °С	390
Удельный расход условного топлива, кг/кВт.ч	0,195
Время пуска и набора полной нагрузки, мин	27
Масса, т	200
Габаритные размеры, м:	
длина	14,8
ширина	7,3
высота	5,7

Компрессорная группа

Давление перед дросселирующим устройством, МПа	0,10134
Температура перед дросселирующим устройством, °С	15
Производительность (расход воздуха), кг/с	206
Давление после концевого охладителя, МПа:	
в начале закачки	4,6
в конце закачки	6,5
Мощность, потребляемая при закачке, МВт	125
Расход охлаждающей воды при температуре 24°С, м^3/ч	6500
Время пуска и набора нагрузки, мин	15
Суммарная масса, включая воздуоохладители, т	562
Габаритные размеры (без электродвигателя), м:	
длина	23,1
ширина	4,6
высота	3,8

Конструкция установки. Газотурбинная группа выполнена в виде единого сборочного блока, включающего газовую турбину с двумя ступенями подвода тепла и расширения рабочего тела, которую можно разделить на КСВД, ТВД, КСНД и ТНД (рис. 10). Основные элементы газотурбинной группы широко унифицированы с освоенным оборудованием ГТ-100-3М и ГТЭ-150. ТВД турбогруппы ГТЭ-350 ВА спроектирована путем моделирования ТВД ГТ-100-3М, а в ТНД полностью применено облопачивание ротора, а также использованы с незначительными изменениями четыре из пяти диафрагм ТНД ГТ-100-3М.

Система автоматического регулирования турбогруппы совместно с системой регулирования компрессорной группы, а также системами управления, контроля, защиты и сигнализации входит в АСУТП, выполненную на базе микропроцессорной техники. Управление ГТЭ-350 ВА дистанционное с центрального щита.

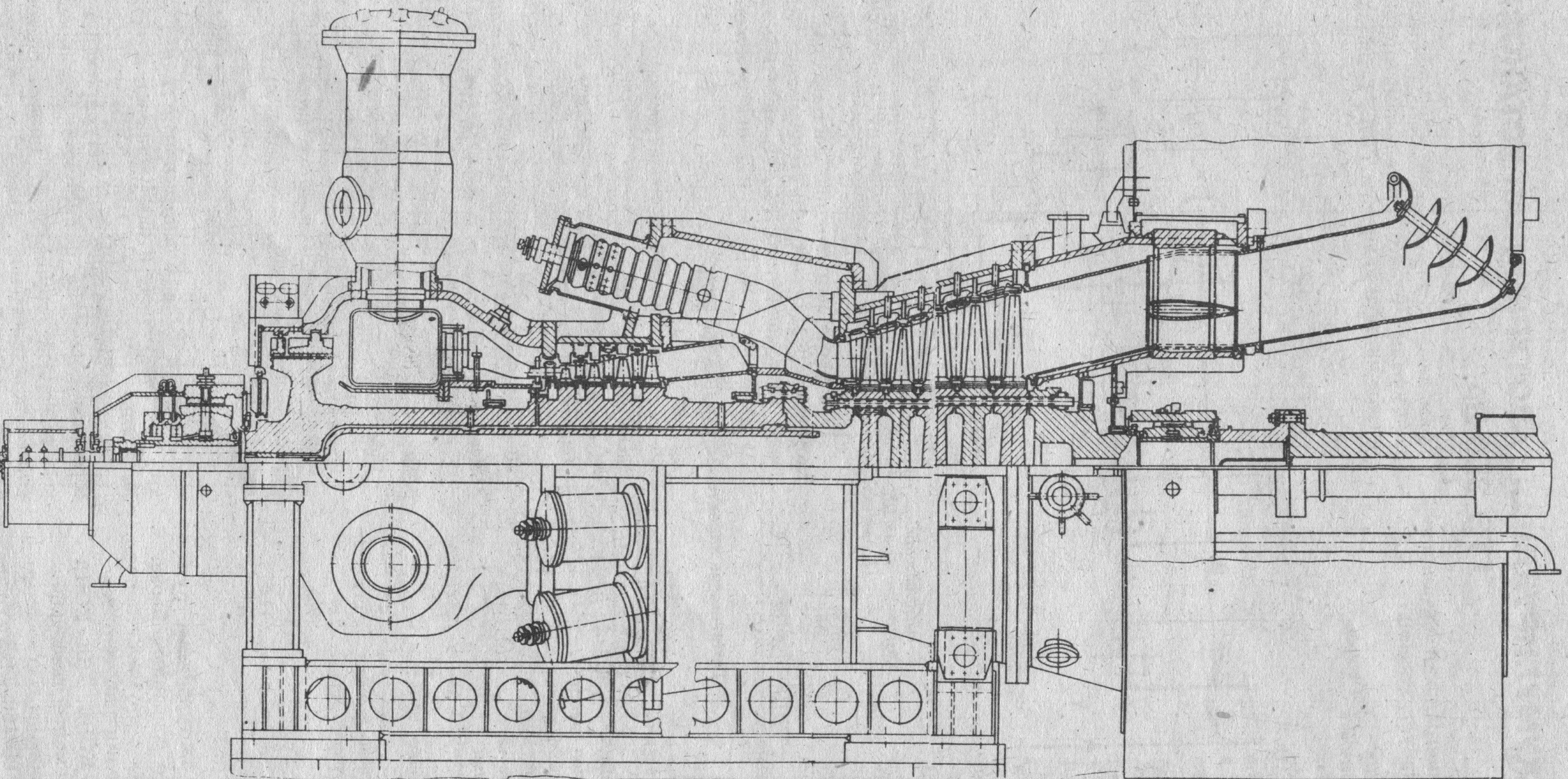


Рис. 10. **Продольный разрез ГТЭ-350 ВА**

ГАЗОВАЯ УТИЛИЗАЦИОННАЯ БЕСКОМПРЕССОРНАЯ ТУРБИНА (ГУБТ)

Разработчик и изготовитель - ПО "Турбомоторный завод" (г. Екатеринбург, Россия).

Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина типа ГУБТ предназначена для выработки электроэнергии путем утилизации избыточного давления газа под колошником доменной печи. Создан унифицированный типоразмерный ряд турбин ГУБТ мощностью 6, 8 и 12 тыс. кВт.

Турбина легко встраивается в технологический цикл как вновь вводимого, так и действующего доменного производства.

Техническая характеристика ГУБТ-12

Мощность номинальная на валу турбины, МВт	12
Расход доменного газа через турбину, отнесенный к давлению 760 мм рт. ст. и температуре 0°С, м³/ч	$3{,}6 \cdot 10^5$
Расчетное избыточное давление доменного газа, кПа:	
перед турбиной	230
за турбиной	15
Температура доменного газа после газоподогревателя, не более, °С	140
Внутренний относительный КПД турбины, %	85
Удельная масса, кг/кВт	4,8
Габаритные размеры, м:	
длина	6,3
ширина	2,08
высота	2,8

Конструкция установки. Турбина представляет собой одноцилиндровый прямоточный двухступенчатый агрегат (рис. 11). Сопловые лопатки 1-й ступени - поворотные; угол установки выбирается изготовителем в зависимости от производительности домны. Впускной патрубок турбины выполнен осевым, выхлопной - наклонным к оси турбины.

Ввиду высокой токсичности доменного газа приняты особые меры для предотвращения попадания доменного газа в машинный зал. Разработана оригинальная система концевых уплотнений с подачей запирающего воздуха или азота. Турбина покрыта герметичным кожухом, из-под которого газ отсасывается с помощью воздушного эжектора.

Турбина полностью автоматизирована и может работать без постоянного присутствия обслуживающего персонала в машинном зале. Контроль за работой турбины осуществляется с пульта управления доменной печи.

Система автоматического управления, регулирования и защиты осуществляет непрерывный контроль за работой турбины на всех режимах и исключает ошибки персонала при управлении агрегатом. В качестве быстрозапорного и регулирующего органов турбины служит блок поворотных диафрагм.

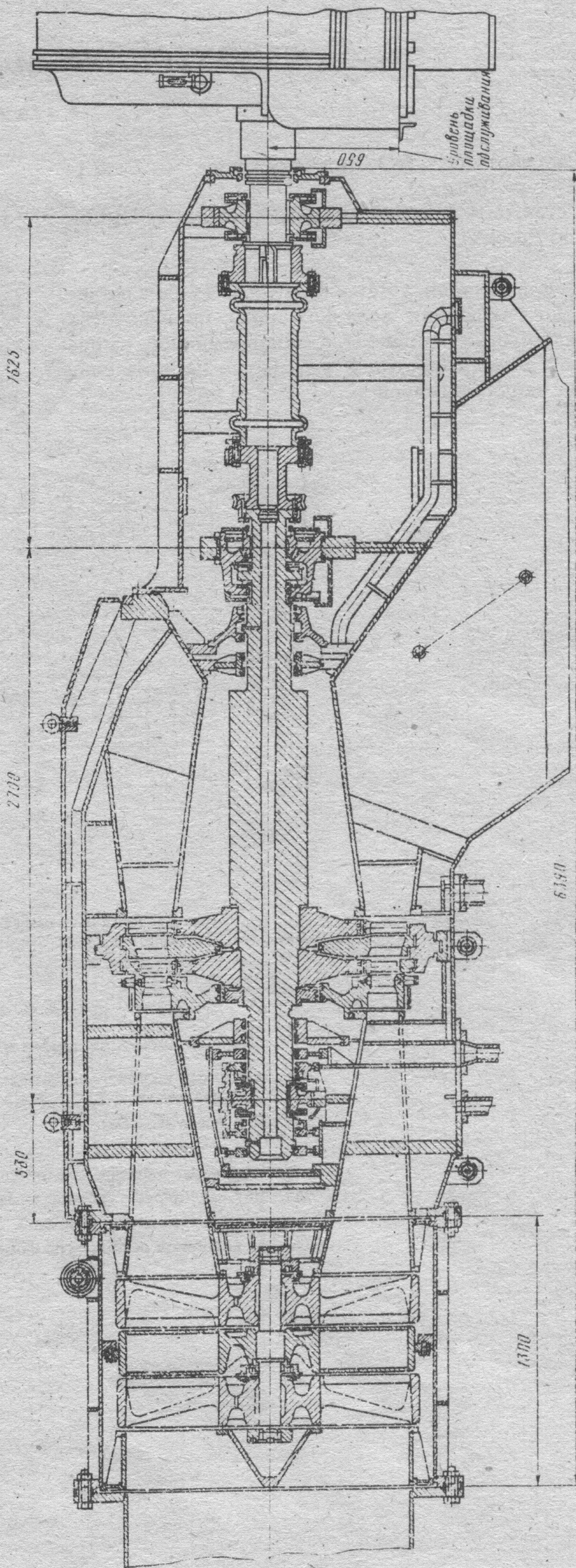


Рис. 11. **Продольный разрез ГУБТ**

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТА-3

Разработчик - ПО "Невский завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

Изготовитель - АО "Дальэнергомаш" (г. Хабаровск, Россия).

Газотурбинная установка ГТА-3 предназначена для снабжения воздухом цеха производства слабой азотной кислоты с одновременной выработкой электроэнергии и выработки пара за счет тепла уходящих газов.

Система автоматического регулирования и управления выполнена гидравлической. Автоматическое управление, все блокировки и защита имеют электрические связи, в том числе и с системой управления технологическим агрегатом.

Конструкция установки. В установку входят осевой компрессор, камера сгорания, турбина, редуктор, центробежный нагнетатель, воздухоохладитель, мотор-генератор, предназначенный для запуска установки и отдачи избыточной энергии в электрическую сеть. Тепловая схема установки показана на рис. 12, а продольный разрез турбокомпрессора - на рис. 13.

Газовая турбина и осевой компрессор конструктивно объединены в одном корпусе и имеют общий ротор, выполненный из одной поковки. Компрессор 16-ступенчатый, турбина имеет 7 ступеней. Камера сгорания обеспечивает работу установки в технологическом цикле и при автономном режиме.

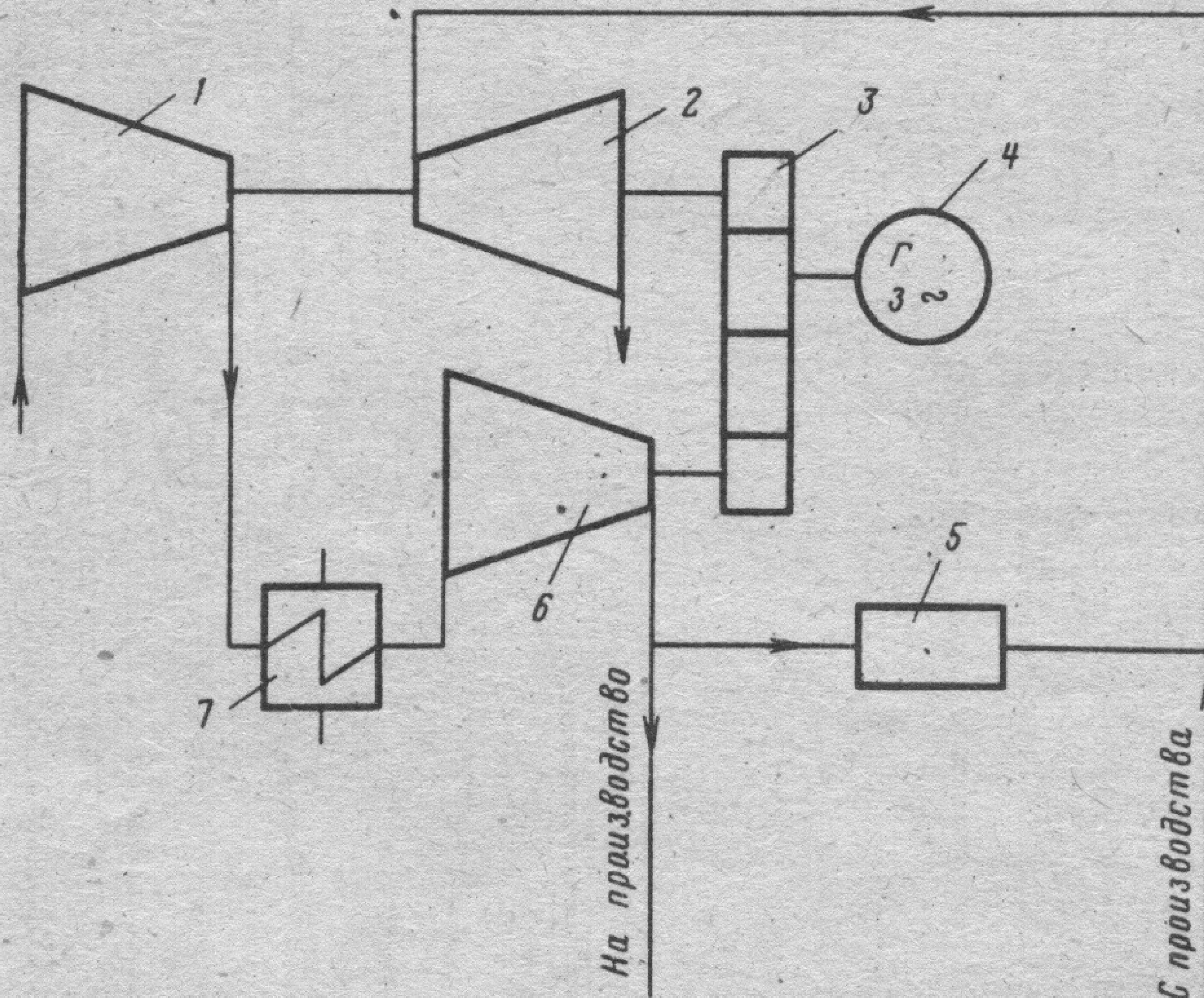


Рис. 12. **Тепловая схема ГТА-3**
1 - осевой компрессор; 2 - турбина; 3 - редуктор; 4 - мотор-генератор; 5 - камера сгорания; 6 - нагнетатель; 7 - воздухоохладитель

Техническая характеристика ГТА-3

Расход воздуха на технологическое производство (приведенный к 20°С и 101,3 кПа), м³/ч	93000
Давление воздуха, кПа:	
за установкой	720
на входе в осевой компрессор	95
Давление газа перед турбиной, кПа	530
Температура газа перед турбиной, °С	700
Частота вращения ротора турбокомпрессора, мин$^{-1}$	5100

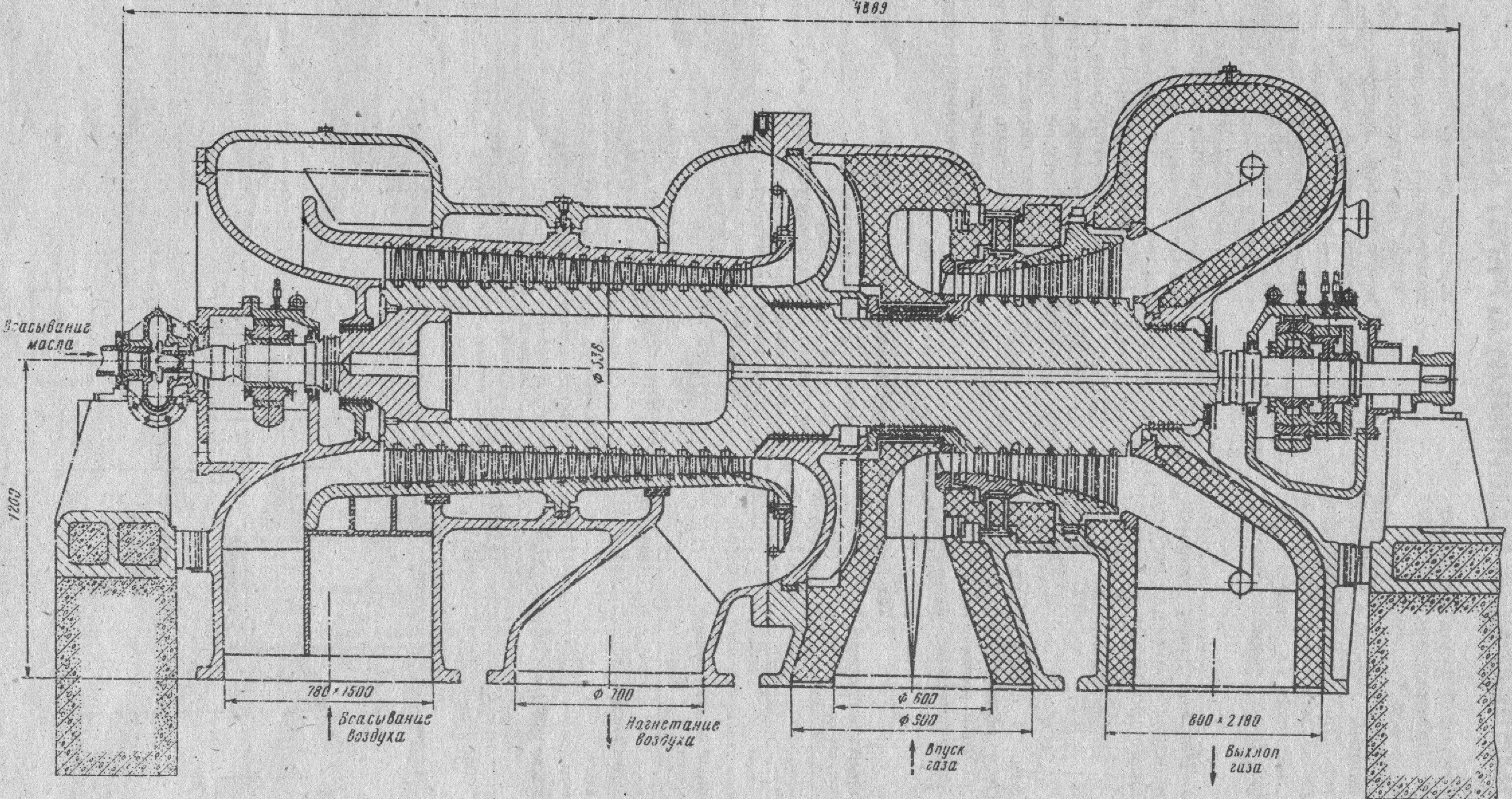


Рис. 13. **Продольный разрез ГТА-3**

КОМПЛЕКСНЫЙ МАШИННЫЙ АГРЕГАТ КМА-2

Разработчик - ПО "Невский завод" (г. Санкт-Петербург, Россия). Изготовитель - АО "Дальэнергомаш" (г. Хабаровск, Россия).

Комплексный машинный агрегат КМА-2 предназначен для сжатия и подачи в технологические аппараты воздуха и нитрозных газов при производстве слабой кислоты, а также для утилизации тепла выхлопных технологических газов.

На базе КМА-2 ПО "Невский завод" разработал агрегат КМА-3, предназначенный для работы в технологическом цикле производства серной кислоты.

Конструкция агрегата. В состав машинного агрегата входят газовые турбины (ТВД и ТНД), осевой компрессор, нитрозный нагнетатель и две паровые турбины, предназначенные для пуска агрегата, регулирования режима и компенсации недостающей мощности при снижении эффективности турбин, компрессора и нитрозного нагнетателя в процессе эксплуатации. Тепловая схема машинного агрегата показана на рис. 14, а на рис. 15 - продольный разрез блока турбогруппы КМА-2.

ТВД и ТНД конструктивно объединены в одном корпусе. Двухступенчатая ТВД приводит осевой компрессор, а одноступенчатая ТНД - нитрозный нагнетатель. Турбогруппа смонтирована на единой раме и транспортируется в виде блока с обвязкой трубопроводами КМА-2 имеет систему автоматического управления, регулирования и защиты, связанную с системой управления технологическим процессом.

Техническая характеристика КМА-2

Воздушный компрессор

Давление воздуха, кПа (кгс/см^2):
- на входе ... 91,4 (0,96)
- на выходе ... 412,5 (4,2)

Температура на входе, °С ... 20

Расход воздуха на технологию (приведенный к нормальным условиям), м^3/ч ... 216000

Нитрозный нагнетатель

Давление газов, кПа (кгс/см^2):
- перед нагнетателем ... 353 (3,6)
- за нагнетателем ... 1080 (11)

Температура газа перед нагнетателем, °С ... 65

Расход газа через нагнетатель (приведенный к нормальным условиям), м^3/ч ... 192240

Газовая турбина

Давление, кПа (кгс/см^2):
- перед турбиной ... 932 (9,5)
- за турбиной ... 103 (1,05)

Температура перед турбиной, °С ... 760

Расход газа через турбину (приведенный к нормальным условиям), м^3/ч ... 174240

Частота вращения ротора, мин$^{-1}$:
- воздушного компрессора ... 5200
- нитрозного нагнетателя ... 5000

Паровые турбины

Давление пара, кПа (кгс/см^2):
- перед стопорным клапаном ... 3430 (35)
- на выхлопе ... 1670 (17)

Температура пара на входе, °С ... 420

Габаритные размеры агрегата, м:
- длина ... 17,84
- ширина ... 3,25
- высота ... 3,11

Масса агрегата в объеме поставки, т ... 122,2

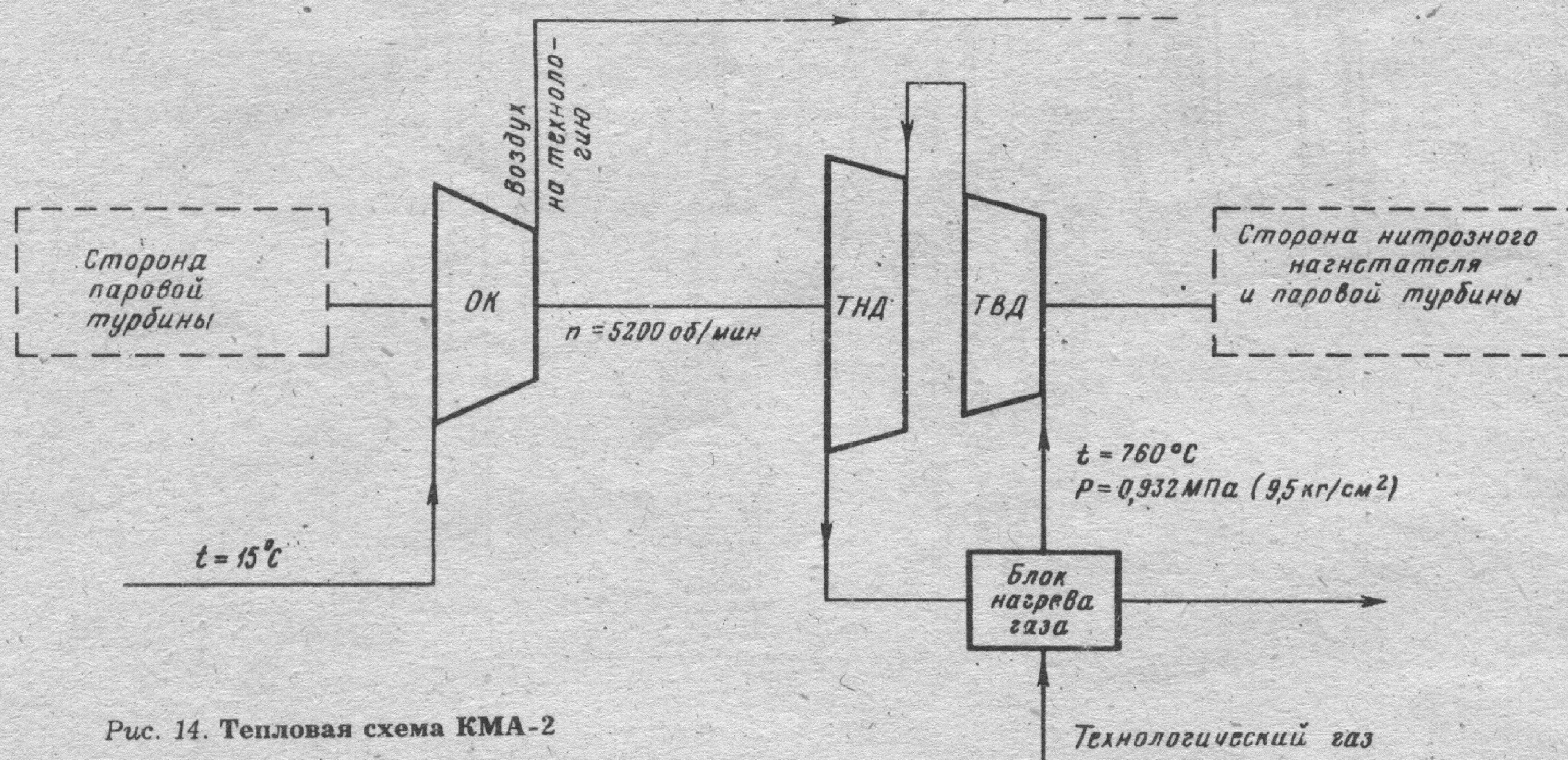


Рис. 14. **Тепловая схема КМА-2**

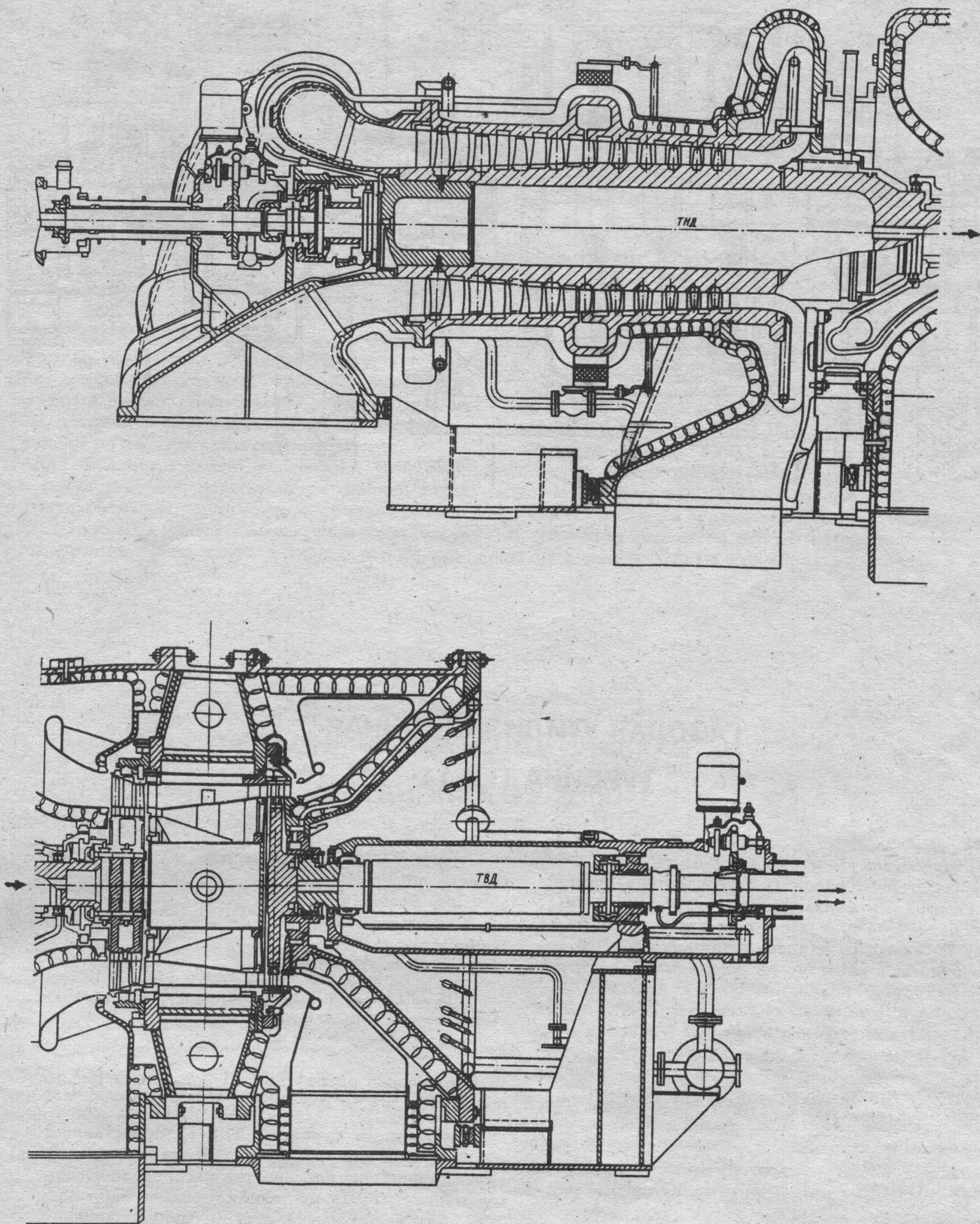


Рис. 15. **Продольный разрез турбогруппы КМА-2**

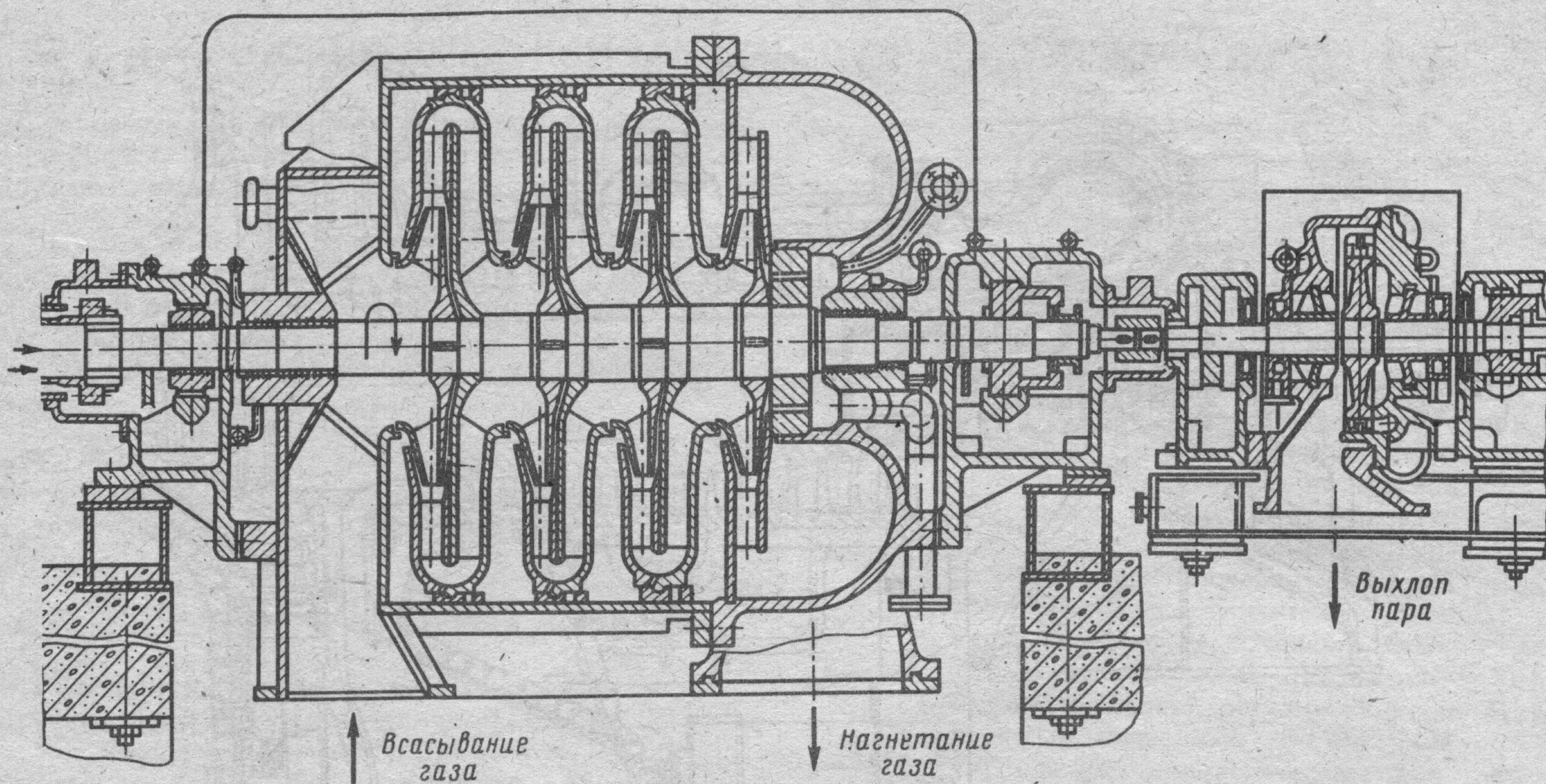


Рис. 15. Продолжение

ГАЗОВАЯ УТИЛИЗАЦИОННАЯ ТУРБИНА ТГУ-11

Разработчик и изготовитель - ПО "Турбомоторный завод" (г. Екатеринбург, Россия).

Газовая утилизационная турбина ТГУ-11 предназначена для выработки электроэнергии за счет избыточного давления природного газа, поступающего в качестве топлива в котлы тепловой электростанции (ТЭС).

Техническая характеристика ТГУ-11

Турбина

Мощность на муфте, МВт	11,5 - 12
Номинальный расход газа, м^3/ч (кг/с)	210000 (42,7)
Давление, МПа:	
перед турбиной	1,1 - 1,3
за турбиной	0,17
Температура, °С:	
перед турбиной	135
за турбиной	17
КПД (по патрубкам), %	87
Масса, т	27

Газоподогреватель

Давление, МПа:	
перед подогревателем	1,2 - 1,4
за подогревателем	1,1 - 1,3
Температура газа, °С:	
перед подогревателем	5,0
за подогревателем	150,0
Расход греющей воды, кг/ч	144000
Температура греющей воды, °С	170

Продольный разрез ТГУ-11 показан на рис. 16 (см. стр. 22-23).

Конструкция турбины. ТГУ-11 представляет собой осевой многоступенчатый турбодетандер, включаемый параллельно газораспределительному пункту (ГРП) на линии топливоснабжения ТЭС. Для возможности регулирования давления или расхода газа первые пять рядов сопловых аппаратов турбины выполнены поворотными, автоматически управляемыми одним сервомотором.

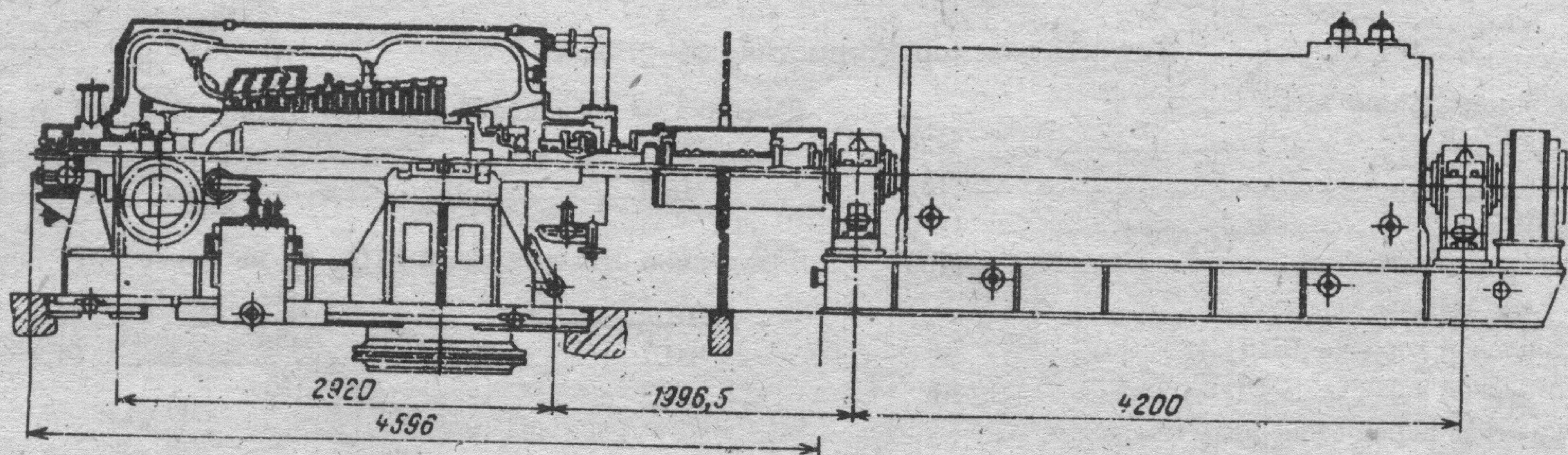


Рис. 16. **Продольный разрез ТГУ-11**

Установка снабжена стопорным и быстродействующим клапанами, связанными друг с другом. При аварийном останове турбины быстродействующий клапан обеспечивает перепуск газа на ГРП, который в этом случае начинает выполнять функции по поддержанию режима котлов.

Для предотвращения обмерзания арматуры газ перед турбиной подогревается горячей водой в рекуперативном подогревателе до температуры 135°С. При этом увеличивается выработка электроэнергии, а температура в тракте между турбиной и котлом оказывается близкой к температуре окружающей среды.

Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ТГУ-11, в 3 раза ниже, чем у паротурбинных ТЭС мощностью 800 МВт.

Энергоустановка ТГУ-11 совместно с ГРП полностью автоматизирована. Контроль за ее работой осуществляется с центрального пульта ТЭС.

ТГУ-11 является экологически чистым изделием, поскольку для своей работы не сжигает топливо и не имеет сбросов в окружающую среду.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЭУ-2500-1

Разработчик - ПО "Ленинградский Металлический завод" (г. Санкт-Петербург, Россия).

Энерготехнологическая установка ЭУ-2500-1 предназначена для обеспечения электроэнергией собственных нужд компрессорных станций магистральных газопроводов за счет использования тепла уходящих газов и энергии давления природного газа, поступающего из магистрального газопровода в камеры сгорания турбин газоперекачивающих агрегатов.

Основными элементами установки (рис. 17) является турбодетандер 1 с электрогенератором 2, подогреватель 3, утилизирующий тепло уходящих газов, устройство дополнительной очистки газа 4, воздушные охладители 9, предназначенные для стабилизации температуры газа, поступающего в технологическую схему компрессорной станции.

Турбодетандер состоит из части высокого давления 11 и части низкого давления 10. Через ЧНД проходит только то количество газа, которое необходимо подавать в камеры сгорания 6 газотурбинных установок 5. Конструкция турбодетандера и особенности его привязки к технологической схеме компрессорной станции позволяют сбрасывать природный газ в коллектор 8 газопровода низкого давления после ЧВД турбодетандера. В период пиковых нагрузок или аварийных снижений расхода топливного газа на компрессорной станции выработка электроэнергии происходит за счет потока газа, циркулирующего через ЧВД между коллектором 7 нагнетания компрессорной станции и коллектором 8 газопровода низкого давления.

Техническая характеристика ЭУ-2500-1

Мощность номинальная, кВт:
- общая 2920
- ЧВД 1150
- ЧНД 1770
- на топливном газе 1765

Давление газа, МПа:
- в сопловой коробке ЧВД 7,0
- в сопловой коробке ЧНД 4,4

Температура газа перед стопорным клапаном, °С:
- ЧВД 52
- ЧНД 187

Расход газа, кг/с:
- через ЧВД 24
- через ЧНД 12

Давление за последней ступенью, МПа:
- ЧВД 4,0
- ЧНД 1,4

Внутренний относительный КПД, %, не менее:
- ЧВД 58,4
- ЧНД 64,2

Габаритные размеры, м:
- длина 3,56
- ширина 1,0
- высота 1,13

Масса блока турбогруппы, т 5,75

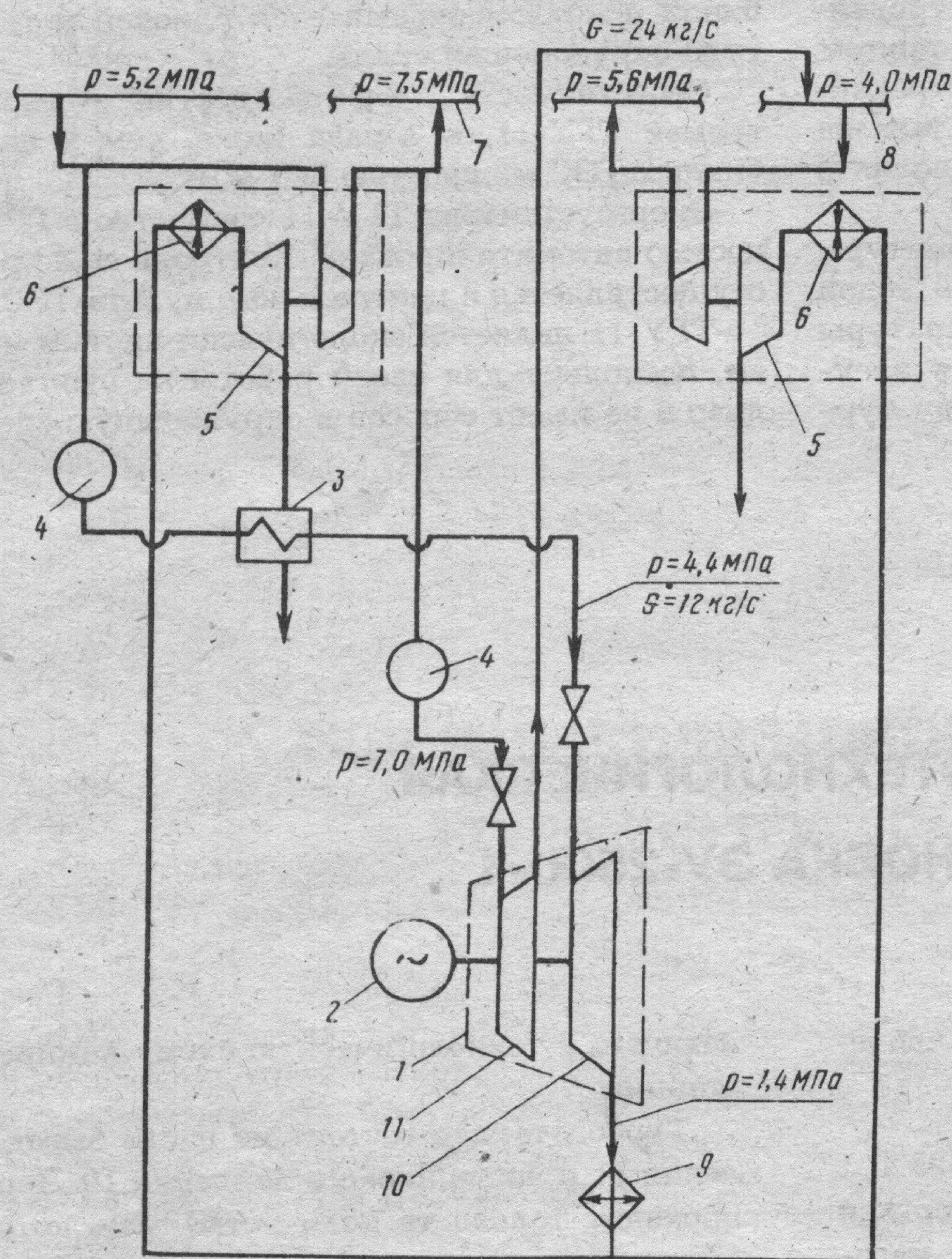


Рис. 17. **Технологичесвая схема ЭУ-2500-1**

Конструкция установки. Корпус турбодетандера отлит из материала сталь 25. Ротор цельнокованный из стали 34ХН3МА, рабочие лопатки изготавливаются из стали 20Х13 и набираются в Т-образных пазах. На рис. 18 приведен разрез турбодетандера.

Элементы проточной части широко унифицированы. Рабочие колеса ступеней ЧВД и ЧНД выполнены одинаковыми, отличие состоит в степени парциальности сопловых аппаратов. Профили сопловых аппаратов, начиная с 3-й ступени и рабочих лопаток ЧНД, унифицированы по группам, отличающимся высотой.

Система автоматического управления обеспечивает режимы работы турбодетандера и их стабилизацию. Гидравлическая часть системы выполнена на базе традиционного для паровых турбин решения: основными элементами формирования управляющего воздействия являются бесшарнирный регулятор скорости и блок связанных с ним золотников.

Электрическая часть состоит из стандартных электронных регуляторов, поддерживающих неизменные скорости вращения ротора, температуры перед ЧНД и давления после ЧНД.

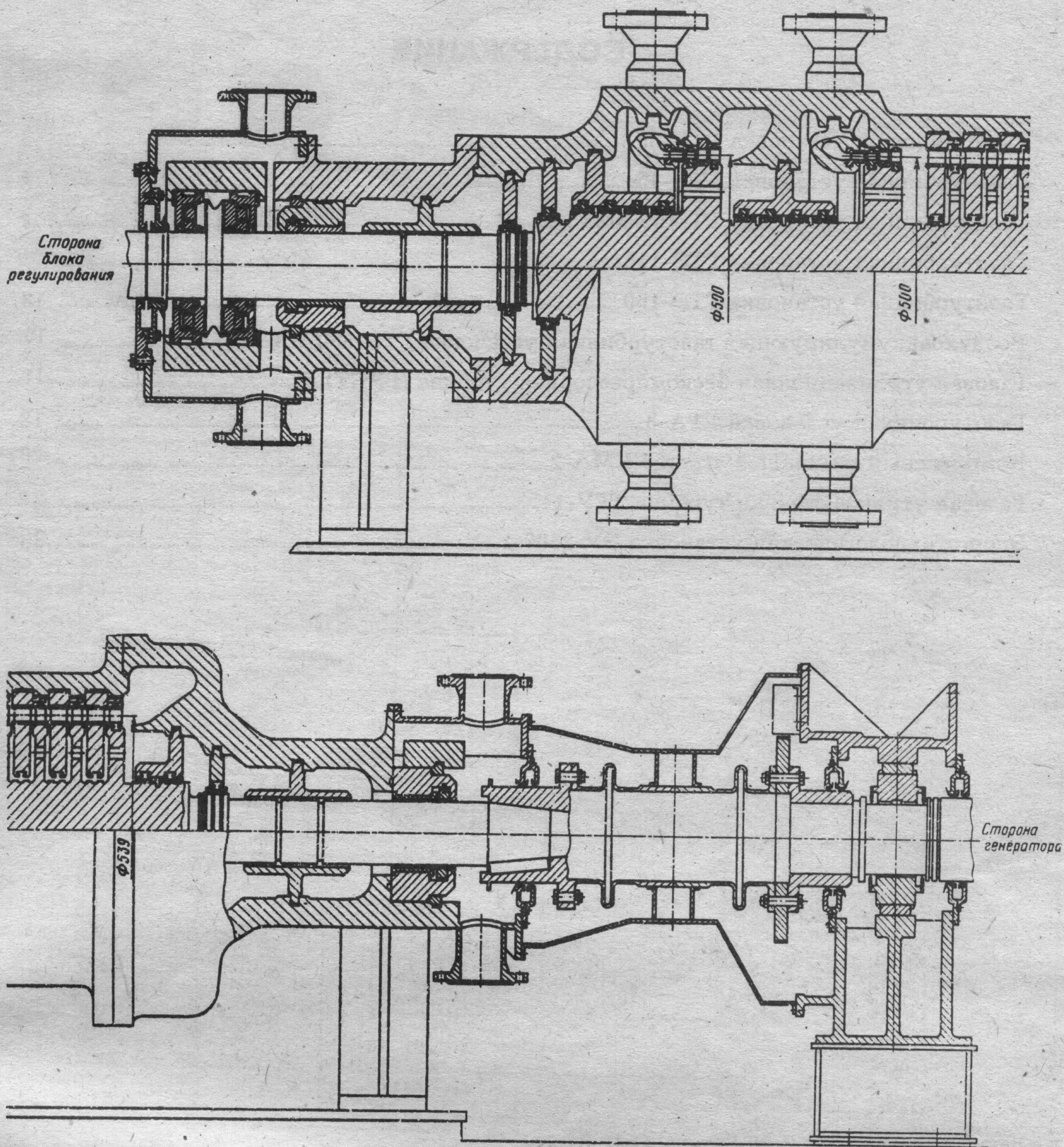


Рис. 18. **Продольный разрез ЭУ-2500-1**

СОДЕРЖАНИЕ

Газотурбинная установка ГТЭ-30 3
Газотурбинная установка ГТЭ-45 4
Газотурбинная установка ГТ-100-3М 7
Газотурбинная установка ГТЭ-115 10
Газотурбинная установка ГТЭ-150 12
Воздухоаккумулирующая газотурбинная установка ГТЭ-350 ВА 15
Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина (ГУБТ) 17
Газотурбинная установка ГТА-3 18
Комплексный машинный агрегат КМА-2 20
Газовая утилизационная турбина ТГУ-11 22
Энерготехнологическая установка ЭУ-2500-1 23

Ведущие редакторы: В. Н. Бутина, О. И. Бурова
Технический редактор: В. М. Курпяева
Электронная верстка: В. А. Гуревич

Подп. в печать 31.01.95 г. Формат 60х90 $^1/_8$ Печ. л. 3,5
Зак. тип. 76-94 Тираж экз. 350 Цена договорная

ЦНИИТЭИтяжмаш, 129090, Москва, И-90, Троицкая ул.,17



ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ БОЛЕЕ 50 МВт КОНЦЕРНА АББ

Показатели	Тип ГТУ			
	GT8C	GT13D	GT13E2	GT26
Режим работы	Базовый или пиковый (без ограничения числа пусков)			Базовый
Номинальная электрическая мощность при нормальных условиях (t=15 °C, p=1 бар), МВт	52,8	97,9	165,1	240
КПД при нормальных внешних условиях, %	34,4	32,3	35,7	37,8
Температура уходящих газов после турбины, °C	517	490	524	608
Температура газов на входе в турбину (расчитанная по IS02314), °C	1100	990	1100	1235
Степень сжатия воздуха в компрессоре	15,7	11,9	15,0	30
Расход газов на выходе из турбины, кг/см	179	394	523	542
Топливо	Природный газ, жидкое (дизельное) топливо			
		Сырая нефть		
Допустимая температура наружного воздуха, °C	- 60 . . . + 50			
Диапазон регулирования мощности, %	0 - 108	0 - 109	0 - 107	0 - 100
Время пуска из холодного состояния до номинальной нагрузки (норм./ускор.), мин	17/10	16/8,5	25/12	30
Мощность вспомогательных механизмов (при работе на природном газе без учета мощности дожимного компрессора), кВт	95	298	290	573
Частота вращения ротора турбины, $с^{-1}$	103,7 (привод генератора 50 Гц через редуктор)	50		
Число ступеней :				
турбины	3	5	5	5
компрессора	12	18	21	22
Тип камеры сгорания	Вертикальная выносная		Кольцевая встроенная	Две встроенных кольцевых камеры (2ая камера после 1ой ступени турбины)
Тип и число горелок (EV - *enviromental* - экологически чистая)	EV, 19	EV, 36 (для сырой нефти - одиночная горелка)	EV, 72	1ая камера - EV, 30 2ая камера - EV, 34
Площадь площадки обслуживания ГТУ, $м^2$	200	255	300	300
Вертикальные размеры, м :				
по воздухозабору	15,5	20,0	20,0	15,5
высота расположения крюка крана	12,5	12,4	14,0	14,0
Отметка установки турбины, м	0			
Год изготовления первой установки	1994	1970	1992	1996
Число установок, находящихся в эксплуатации, шт.	1	100	4	-
Уровень шума, дБ :				
при закрытой компоновке на расстоянии 1 м от установки	85			
при открытой компоновке на расстоянии 120 м от установки	60			

Показатели		Тип ГТУ			
		GT8C	GT13D	GT13E2	GT26
Массогабаритная характеристика самого крупного поставочного узла - термоблока :					
	масса, т	95	183	328	336
	размеры, м	7,9 × 3,3 × 3,9	3,3 × 4,5 × 4,8	10,8 × 6,4 × 5,4	12.3 × 5,0 × 5.5
Вес самой тяжелой части для подъема при монтаже и эксплуатации, т		18	51,6	82	110
Расход топлива (природный газ с теплотворной способностью 50 МДж/кг) в режиме, кг/с :					
	базовом	3,045	6,01	9,17	12,6
	пиковом	3,24	6,46	9,72	-
Параметры топлива (природный газ) :					
	давление, бар	25	18,5	25	46
	температура, °С	150			
Выбросы оксидов азота при эксплуатации, *ppm* :					
	на природном газе	25			
	на жидком топливе	42			
Гарантируемый общий ресурс установки, ч		100000			
Ресурс по сменяемым деталям, ч		48000			
Коэффициент готовности		0,99		0,992	0,99
Коэффициент успешности пусков		0,91		0,92	
Коэффициент технического использования		0,93		0,933	0,93
КПД парогазовой установки с использованием ГТУ данного типа (в зависимости от тепловой схемы паротурбинной части), %		48 - 52,5	48 - 50	50 - 55	55 - 58,5
Мощность ПГУ при применении в блоке, МВт :					
	1 ГТУ	77	147	244	362
	2 ГТУ	156	296	491	724
	3 ГТУ	235	445	737	-
	4 ГТУ	314	553	984	-

По всем вопросам использования газотурбинных энергетических установок, изготовляемых на предприятиях концерна АББ, следует обращаться:

АББ Крафтверке АГ:
Бовери штрассе, 22
D 68309 Маннхайм, Германия
Тел.: + 49 621 381 7403
Факс: + 49 621 381 3071

АББ Россия, сегмент "Производство энергии":
101000, Москва, Покровский бульвар, 4/17, кв. 7
Тел.: 956 3292
Факс: 956 3693

